

FORMULAIRE DU PRODUCTEUR

1970

ÉDITIONS TECHNIP

COLLECTION **PRATIQUE DU PÉTROLE**

1. Formulaire du foreur (3e édition)
2. Les boues de forage
3. Les combustibles liquides
4. Formulaire du producteur

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE

FORMULAIRE DU PRODUCTEUR

COLLECTION

PRATIQUE DU PÉTROLE

4

1970

ÉDITIONS TECHNIP • 7, RUE NÉLATON • PARIS 15ᵉ



LISTE DES AUTEURS

	CHAPITRE
J. **AYMON** (ELF R.E.)	XIII
E. **BOILEAU** (ELF R.E.)	IV
A. **BRASSEUR** (PÉTROREP)	V
R. **COTTIN** (ELF R.E.)	II
E. **DIEMER** (FLOPÉTROL)	VII
L. **GAY** (ELF R.E.)	VIII
A. **HENTZ** (Dowell-Schlumberger)	VIII
G. **KLEIN** (C.F.P.(A.)	XI
A. **LEBLOND** (I.F.P - E.N.S.P.M.)	I, III et XII
H. **LE FUR** (ELF R.E.)	VI
J. **MOULINIER** (S.N.P.A.)	IX et X

du Comité des Techniciens de la Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel, ont contribué à l'élaboration de cet ouvrage.

AVANT-PROPOS

Répondant à un besoin exprimé depuis longtemps par la profession, un Formulaire du Producteur est édité pour la première fois.

C'est sous l'égide du Comité des Techniciens de la Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel, et dans le cadre de la sous-commission Production, que cet ouvrage a été pensé et préparé. Le groupe de travail dirigé d'abord par M. AYMON (ELF R. E.), puis par M. LEBLOND (I. F. P. -E. N. S. P. M.), a reçu la collaboration d'ingénieurs des sociétés ou organismes suivants :

C. F. P. (A) DOWELL SCHLUMBERGER

ELF R. E. I. F. P. - E. N. S. P. M. FLOPETROL

PETROREP S. N. P. A.

La publication en est assurée par les soins de l'Institut Français du Pétrole dans sa collection des formulaires.

Tous ceux qui ont œuvré pour composer ce formulaire ont eu pour but de fournir aux ingénieurs et agents de maîtrise travaillant sur les chantiers un outil de travail le plus simple et le plus complet possible, dans le même esprit que celui qui avait présidé à l'élaboration du Formulaire du Foreur.

Ils seront récompensés de leurs efforts si effectivement ce formulaire, présentant sous forme condensée une importante documentation, facilite la tâche de leurs collègues isolés un peu partout dans le monde et dans des conditions souvent difficiles.

Conscients que cette première édition est perfectible, ils souhaitent recevoir le témoignage des utilisateurs que le Comité des Techniciens appréciera comme un encouragement à la poursuite de son action.

Le Président
de la sous-commission Production

Y. BERGER

CHAPITRE I

chapitre I

GÉNÉRALITÉS

SOMMAIRE

SYSTÈMES LÉGAUX D'UNITÉS

			M. K. S. A. (Système international S.I.)					C. G. S. (Sous-multiples décimaux du système S.I.)				
GRANDEURS	Équation aux dimen- -sions	SYMBOLE	UNITÉS	S	M. T. S.	M. Kp. S.	C. G. S.	UNITÉS	S	M. T. S.	M. Kp. S.	M. K. S. A.
LONGUEUR	L	l	mètre	m	1	1	10^2	centimètre	cm	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
MASSE	M	m	kilogramme	kg	10^{-3}	$\frac{1}{9,81}$	10^3	gramme	g	10^{-6}	$\frac{10^{-3}}{9,81}$	10^{-3}
SURFACE	L^2	S	mètre carré	m^2	1	1	10^4	centimètre carré	cm^2	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
VOLUME	L^3	V	mètre cube	m^3	1	1	10^6	centimètre cube	cm^3	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}
TEMPS	T	t	seconde	s	1	1	1	seconde	s	1	1	1
FORCE	MLT^{-2}	F	newton	N	10^{-3}	$\frac{1}{9,81}$	10^5	dyne	dyn	10^{-8}	$\frac{1}{9,81} \times 10^{-5}$	10^{-5}
ÉNERGIE - TRAVAIL	ML^2T^{-2}	$\mathcal{T}$ ou W	joule	J	10^{-3}	$\frac{1}{9,81}$	10^7	erg		10^{-10}	$\frac{1}{9,81} \times 10^{-7}$	10^{-7}
PUISSANCE	ML^2T^{-3}	P	watt	W	10^{-3}	$\frac{1}{9,81}$	10^7	erg par seconde		10^{-10}	$\frac{1}{9,81} \times 10^{-7}$	10^{-7}
VITESSE	LT^{-1}	v	mètre par seconde	m/s	1	1	10^2	centimètre par seconde	cm/s	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
ACCÉLÉRATION	LT^{-2}	γ	mètre par seconde, par seconde	m/s^2	1	1	10^2	gal	cm/s^2	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
PRESSION - CONTRAINTE	$ML^{-1}T^{-2}$	p	pascal	Pa	10^{-3}	$\frac{1}{9,81}$	10	barye	dyn/cm^2	10^{-4}	$\frac{1}{98,1}$	10^{-1} Pa
			Unité pratique : bar (10^5 Pa)		10^2	$\frac{1}{9,81} \times 10^5$	10^6					10^{-6} bar
VISCOSITÉ DYNAMIQUE	$ML^{-1}T^{-1}$	η μ	poiseuille	Pl	10^{-3}	$\frac{1}{9,81}$	10	poise	Po	10^{-4}	$\frac{1}{98,1}$	10^{-1}
VISCOSITÉ CINÉMATIQUE	L^2T^{-1}	ν		m^2/s	1	1	10^4	stokes	St	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
QUANTITÉ DE CHALEUR		Q	joule	J	$\frac{1}{4,18} \times 10^{-6}$	$\frac{1}{4,18} \times 10^{-3}$	$\frac{1}{4,18}$	calorie ou microthermie	cal µth	10^{-6}	10^{-3}	4, 18

ANCIENS SYSTÈMES D'UNITÉS

			M.T.S.					M.Kp.S.				
GRANDEURS	Équation aux dimen- -sions	SYMBOLE	UNITÉS	S	M. Kp. S	C. G. S.	M. K. S. A.	UNITÉS	S	M. T. S.	C. G. S.	M. K. S. A.
LONGUEUR	L	*l*	mètre	m	1	10^2	1	mètre	m	1	10^2	1
MASSE	M	*m*	tonne	t	$\frac{1}{9,81}\times 10^3$	10^6	10^3			$9,81\times 10^{-3}$	$9,81\times 10^3$	9, 81
SURFACE	L^2	*S*	mètre carré	m^2	1	10^4	1	mètre carré	m^2	1	10^4	1
VOLUME	L^3	*V*	mètre cube	m^3	1	10^6	1	mètre cube	m^3	1	10^6	1
TEMPS	T	*t*	seconde	s	1	1	1	seconde	s	1	1	1
FORCE	MLT^{-2}	*F*	sthène	sn	$\frac{1}{9,81}\times 10^3$	10^8	10^3	kilogramme-force	kgf	$9,81\times 10^{-3}$	$9,81\times 10^5$	9, 81
ÉNERGIE - TRAVAIL	ML^2T^{-2}	$\mathcal{T}$ *ou* *W*	kilojoule	kJ	$\frac{1}{9,81}\times 10^3$	10^{10}	10^3	kilogrammètre	kgm	$9,81\times 10^{-3}$	$9,81\times 10^7$	9, 81
PUISSANCE	ML^2T^{-3}	*P*	kilowatt	kW	$\frac{1}{9,81}\times 10^3$	10^{10}	10^3	kilogrammètre par seconde	kgm/s	$9,81\times 10^{-3}$	$9,81\times 10^7$	9, 81
VITESSE	LT^{-1}	*v*	mètre par seconde	m/s	1	10^2	1	mètre par seconde	m/s	1	10^2	1
ACCÉLÉRATION	LT^{-2}	Υ	mètre par seconde, par seconde	m/s^2	1	10^2	1	mètre par seconde, par seconde	m/s^2	1	10^2	1
PRESSION - CONTRAINTE	$ML^{-1}T^{-2}$	*p*	pièze	pz	$\frac{1}{9,81}\times 10^3$	10^4	10^3	kilogramme - force par mètre carré	kgf/m^2	$9,81\times 10^{-3}$	98, 1	9, 81
VISCOSITÉ DYNAMIQUE	$ML^{-1}T^{-1}$	η *ou* μ	myriapoise	maPo	$\frac{1}{9,81}\times 10^3$	10^4	10^3			$9,81\times 10^{-3}$	98, 1	9, 81
VISCOSITÉ CINÉMATIQUE	L^2T^{-1}	ν	myriastokes	maSt	1	10^4	1	myriastokes	maSt	1	10^4	1
QUANTITÉ DE CHALEUR		*Q*	thermie	th	10^3	10^6	$4,18\times 10^6$	kilocalorie ou millithermie	kcal mth	10^{-3}	10^3	$4,18\times 10^3$

CONVERSION DES UNITÉS ANGLO-SAXONNES EN UNITÉS MÉTRIQUES

	Pour convertir en ↙	multiplier le nombre de ↙		par ↙
0, 0393701	Millimètres	Inches (pouces)	in	25, 4
3, 28084	Mètres	Feet (pieds)	ft	0, 3048
1, 09361	Mètres	Yards	yd	0, 9144
0, 621373	Kilomètres	Statute miles (milles terrestres)	-	1, 60934
0, 539613	Kilomètres	Nautical miles (UK) (milles marins anglais)	-	1, 85318
0, 539957	Kilomètres	Nautical miles (milles marins - autres pays)	-	1, 852
0, 155	Centimètres carrés	Square inches (pouces carrés)	in^2, sq. in.	6, 4516
10, 7639	Mètres carrés	Square feet (pieds carrés)	ft^2, sq. ft.	0, 0929
2, 47105	Hectares	Acres	–	0, 404686
0, 386102	Kilomètres carrés	Square miles (milles carrés)	sq. mile	2, 58999
0, 0610236	Centimètres cubes	Cubic inches (pouces cubes)	in^3, cu. in.	16, 3871
0, 0353147	Décimètres cubes	Cubic feet (pieds cubes)	ft^3, cu. ft.	28, 3168
0, 264178	Décimètres cubes	Gallons (US)	gal (US)	3, 78533
0, 219976	Décimètres cubes	Gallons (UK)	gal (UK)	4, 54596
35, 3147	Mètres cubes	Cubic feet	ft^3, cu. ft	0, 0283168
6, 28994	Mètres cubes	Barrels (U.S.) (Barils)	bbl	0, 158984
150, 959	Mètres cubes par heure	Barrels per day (barils par jour)	bbl/day	0, 00662433
15, 4324	Grammes - force	Grains - force	grf	0, 0647989
0, 035274	Grammes - force	Ounces - force (onces - force)	ozf	28, 3495
2, 20462	Kilogrammes - force	Pounds - force (livres - force)	lbf	0, 453592
0, 224809	Newtons	Pounds - force	lbf	4, 44822
0, 0234534	Kilogrammes - force	Sacks (cement)	-	42, 6377
1, 10231	Tonnes - force	Short tons - force (tonnes - force USA)	sh tonf	0, 907185
0, 984204	Tonnes - force	Long tons - force	-	1, 01605
0, 671971	Kilogrammes - force par mètre	Pounds - force per foot	lbf/ft	1, 48816
8, 34523	Kilogrammes - force par décimètre cube	Pounds - force per gallon (US)	lbf/gal	0, 119829
62, 4278	Kilogrammes - force par décimètre cube	Pounds - force per cubic foot	lbf/ft^3	0, 0160185
0, 3505	Kilogrammes - force par mètre cube	Pounds - force per barrel	lbf/bbl	2, 85307
0, 0805214	Litres par mètre	Gallons (US) per foot	gal/ft	12, 4191
14, 5038	Bars	Pounds - force per square inch	lbf/in^2, psi	0, 0689476
14, 2233	Kilogrammes-force par centimètre carré	Pounds - force per square inch	lbf/in^2, psi	0, 070307
0, 711167	Kilogrammes-force par millimètre carré	Short tons - force per square inch	$tonf/in^2$	1, 40614
102, 408	Kilogrammes-force par millimètre carré	Short tons - force per square foot	$tonf/ft^2$	0, 00976486
0, 737561	Joules	Feet - Pounds - force	ft. lbf	1, 35582
7, 23301	Kilogrammètres	Feet - Pounds - force	ft. lbf	0, 138255
0, 737562	Mètres - newtons	Feet - Pounds - force	ft. lbf	1, 35582
0, 684944	Tonnes - force - kilomètres	Short tons - force - miles	-	1, 45997
0, 00134102	Watts	Horse powers	hp	745, 7
0, 98632	Chevaux - vapeur	Horse powers	hp	1, 01387
0, 000947813	Joules	British thermal units	B. t. u.	1055, 06
3, 96707	Kilocalories	British thermal units	B. t. u.	0, 252075
0, 368553	Kilocalories par mètre carré	British thermal units per square foot	B. t. u. $/ft^2$	2, 71331
1, 79943	Kilocalories par kilogramme	British thermal units per pound	B. t. u. /lb	0, 55573
0, 112335	Kilocalories par mètre cube	British thermal units per cubic foot	B. t. u. $/ft^3$	8, 90196
$°C \times \frac{9}{5} + 32$	Degrés Celcius	Degrees Fahrenheit	°F	$(°F - 32)\frac{5}{9}$
5, 61448	Mètres cubes par mètre cube	Cubic feet per barrel (US)	ft^3/bbl	0, 178111
0, 042	Litres par mètre cube	Gallons (US) per barrel (US)	gal/bbl	23, 8095
par ↖	multiplier le nombre de ↖	Pour convertir en ↖		

CONVERSION DES UNITÉS MÉTRIQUES EN UNITÉS ANGLO-SAXONNES

ÉQUIVALENTS DÉCIMAUX DES FRACTIONS DE POUCE ET CONVERSION EN MILLIMÈTRES

Fraction de pouce	Équivalent décimal	mm	Fraction de pouce	Équivalent décimal	mm
1/64	0,015625	0,40	33/64	0,515625	13,10
1/32	0,03125	0,79	17/32	0,53125	13,49
3/64	0,046875	1,19	35/64	0,546875	13,89
1/16	0,0625	1,59	9, 16	0,5625	14,29
5/64	0,078125	1,98	37/64	0,578125	14,68
3/32	0,09375	2,38	19/32	0,59375	15,08
7/64	0,109375	2,78	39/64	0,609375	15,48
1/8	0,125	3,175	5/8	0,625	15,875
9/64	0,140625	3,57	41/64	0,640625	16,27
5/32	0,15625	3,97	21/32	0,65625	16,67
11/64	0,171875	4,37	43/64	0,671875	17,07
3/16	0,1875	4,76	11/16	0,6875	17,46
13/64	0,203125	5,16	45/64	0,703125	17,86
7/32	0,21875	5,56	23/32	0,71875	18,26
15/64	0,234375	5,95	47/64	0,734375	18,65
1/4	0,25	6,35	3/4	0,75	19,05
17/64	0,265625	6,75	49/64	0,765625	19,45
9/32	0,28125	7,14	25/32	0,78125	19,84
19/64	0,296875	7,54	51/64	0,796875	20,24
5/16	0,3125	7,94	13/16	0,8125	20,64
21/64	0,328125	8,33	53/64	0,828125	21,03
11/32	0,34375	8,73	27/32	0,84375	21,43
23/64	0,359375	9,13	55/64	0,859375	21,83
3/8	0,375	9,525	7/8	0,875	22,225
25/64	0,390625	9,92	57/64	0,890625	22,62
13/32	0,40625	10,32	29/32	0,90625	23,02
27/64	0,421875	10,72	59/64	0,921875	23,42
7/16	0,4375	11,11	15/16	0,9375	23,81
29/64	0,453125	11,51	61/64	0,953125	24,21
15/32	0,46875	11,91	31/32	0,96875	24,61
31/64	0,484375	12,30	63/64	0,984375	25,00
1/2	0,5	12,70	1	1	25,40

TABLE DE CONVERSION DES POUCES EN MILLIMÈTRES

Pouces	0	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16
0	0	1,6	3,2	4,8	6,3	7,9	9,5	11,1	12,7	14,3	15,9	17,5	19,0	20,6	22,2	23,8
1	25,4	27,0	28,6	30,2	31,7	33,3	34,9	36,5	38,1	39,7	41,3	42,9	44,4	46,0	47,6	49,2
2	50,8	52,4	54,0	55,6	57,1	58,7	60,3	61,9	63,5	65,1	66,7	68,3	69,8	71,4	73,0	74,6
3	76,2	77,8	79,4	81,0	82,5	84,1	85,7	87,3	88,9	90,5	92,1	93,7	95,2	96,8	98,4	100,0
4	101,6	103,2	104,8	106,4	107,9	109,5	111,1	112,7	114,3	115,9	117,5	119,1	120,6	122,2	123,8	125,4
5	127,0	128,6	130,2	131,8	133,3	134,9	136,5	138,1	139,7	141,3	142,9	144,5	146,0	147,6	149,2	150,8
6	152,4	154,0	155,6	157,2	158,7	160,3	161,9	163,5	165,1	166,7	168,3	169,9	171,4	173,0	174,6	176,2
7	177,8	179,4	181,0	182,6	184,1	185,7	187,3	188,9	190,5	192,1	193,7	195,3	196,8	198,4	200,0	201,6
8	203,2	204,8	206,4	208,0	209,5	211,1	212,7	214,3	215,9	217,5	219,1	220,7	222,2	223,8	225,4	227,0
9	228,6	230,2	231,8	233,4	234,9	236,5	238,1	239,7	241,3	242,9	244,5	246,1	247,6	249,2	250,8	252,4
10	254,0	255,6	257,2	258,8	260,3	261,9	263,5	265,1	266,7	268,3	269,9	271,5	273,0	274,6	276,2	277,8
11	279,4	281,0	282,6	284,2	285,7	287,3	288,9	290,5	292,1	293,7	295,3	296,9	298,4	300,0	301,6	303,2
12	304,8	306,4	308,0	309,6	311,1	312,7	314,3	315,9	317,5	319,1	320,7	322,3	323,8	325,4	327,0	328,6
13	330,2	331,8	333,4	335,0	336,5	338,1	339,7	341,3	342,9	344,5	346,1	347,7	349,2	350,8	352,4	354,0
14	355,6	357,2	358,8	360,4	361,9	363,5	365,1	366,7	368,3	369,9	371,5	373,1	374,6	376,2	377,8	379,4
15	381,0	382,6	384,2	385,8	387,3	388,9	390,5	392,1	393,7	395,3	396,9	398,5	400,0	401,6	403,2	404,8
16	406,4	408,0	409,6	411,2	412,7	414,3	415,9	417,5	419,1	420,7	422,3	423,9	425,4	427,0	428,6	430,2
17	431,8	433,4	435,0	436,6	438,1	439,7	441,3	442,9	444,5	446,1	447,7	449,3	450,8	452,4	454,0	455,6
18	457,2	458,8	460,4	462,0	463,5	465,1	466,7	468,3	469,9	471,5	473,1	474,7	476,2	477,8	479,4	481,0
19	482,6	484,2	485,8	487,4	488,9	490,5	492,1	493,7	495,3	496,9	498,5	500,1	501,6	503,2	504,8	506,4
20	508,0	509,6	511,2	512,8	514,3	515,9	517,5	519,1	520,7	522,3	523,9	525,5	527,0	528,6	530,2	531,8
21	533,4	535,0	536,6	538,2	539,7	541,3	542,9	544,5	546,1	547,7	549,3	550,9	552,4	554,0	555,6	557,2
22	558,8	560,4	562,0	563,6	565,1	566,7	568,3	569,9	571,5	573,1	574,7	576,3	577,8	579,4	581,0	582,6
23	584,2	585,8	587,4	589,0	590,5	592,1	593,7	595,3	596,9	598,5	600,1	601,7	603,2	604,8	606,4	608,0
24	609,6	611,2	612,8	614,4	615,9	617,5	619,1	620,7	622,3	623,9	625,5	627,1	628,6	630,2	631,8	633,4

TABLE DE CONVERSION DES PIEDS EN MÈTRES
de 1 à 100 pieds

Pieds	Mètres	Pieds	Mètres	Pieds	Mètres	Pieds	Mètres
1	0,3048	26	7,9248	51	15,545	76	23,165
2	0,6096	27	8,2296	52	15,850	77	23,470
3	0,9144	28	8,5344	53	16,154	78	23,774
4	1,2192	29	8,8392	54	16,459	79	24,079
5	1,5240	30	9,1440	55	16,764	80	24,384
6	1,8288	31	9,4488	56	17,069	81	24,689
7	2,1336	32	9,7536	57	17,374	82	24,994
8	2,4384	33	10,058	58	17,678	83	25,298
9	2,7432	34	10,363	59	17,983	84	25,603
10	3,0480	35	10,668	60	18,288	85	25,908
11	3,3528	36	10,973	61	18,593	86	26,213
12	3,6576	37	11,278	62	18,898	87	26,518
13	3,9624	38	11,582	63	19,202	88	26,822
14	4,2672	39	11,887	64	19,507	89	27,127
15	4,5720	40	12,192	65	19,812	90	27,432
16	4,8768	41	12,497	66	20,117	91	27,737
17	5,1816	42	12,802	67	20,422	92	28,042
18	5,4864	43	13,106	68	20,726	93	28,346
19	5,7912	44	13,411	69	21,031	94	28,651
20	6,0960	45	13,716	70	21,336	95	28,956
21	6,4008	46	14,021	71	21,641	96	29,261
22	6,7056	47	14,326	72	21,946	97	29,566
23	7,0104	48	14,630	73	22,250	98	29,870
24	7,3152	49	14,935	74	22,555	99	30,175
25	7.6200	50	15,240	75	22,860	100	30,480

TABLE DE CONVERSION
DES CENTAINES DE PIEDS EN MÈTRES
de 100 à 20 000 pieds

Pieds	Mètres	Pieds	Mètres	Pieds	Mètres	Pieds	Mètres	Pieds	Mètres
100	30,48	4 100	1249,68	8 100	2468,88	12 100	3688,08	16 100	4907,28
200	60,96	4 200	1280,16	8 200	2499,36	12 200	3718,56	16 200	4937,76
300	91,44	4 300	1310,64	8 300	2529,84	12 300	3749,04	16 300	4968,24
400	121,92	4 400	1341,12	8 400	2560,32	12 400	3779,52	16 400	4998,72
500	152,40	4 500	1371,60	8 500	2590,80	12 500	3810,00	16 500	5029,20
600	182,88	4 600	1402,08	8 600	2621,28	12 600	3840,48	16 600	5059,68
700	213,36	4 700	1432,56	8 700	2651,76	12 700	3870,96	16 700	5090,16
800	243,84	4 800	1463,04	8 800	2682,24	12 800	3901,44	16 800	5120,64
900	274,32	4 900	1493,52	8 900	2712,72	12 900	3931,92	16 900	5151,12
1 000	304,80	5 000	1524,00	9 000	2743,20	13 000	3962,40	17 000	5181,60
1 100	335,28	5 100	1554,48	9 100	2773,68	13 100	3992,88	17 100	5212,08
1 200	365,76	5 200	1584,96	9 200	2804,16	13 200	4023,36	17 200	5242,56
1 300	396,24	5 300	1615,44	9 300	2834,64	13 300	4053,84	17 300	5273,04
1 400	426,72	5 400	1645,92	9 400	2865,12	13 400	4084,32	17 400	5303,52
1 500	457,20	5 500	1676,40	9 500	2895,60	13 500	4114,80	17 500	5335,00
1 600	487,68	5 600	1706,88	9 600	2926,08	13 600	4145,28	17 600	5364,48
1 700	518,16	5 700	1737,36	9 700	2956,56	13 700	4175,76	17 700	5394,96
1 800	548,64	5 800	1767,84	9 800	2987,04	13 800	4206,24	17 800	5425,44
1 900	579,12	5 900	1798,32	9 900	3017,52	13 900	4236,72	17 900	5455,92
2 000	609,60	6 000	1828,80	10 000	3048,00	14 000	4267,20	18 000	5486,40
2 100	640,08	6 100	1859,28	10 100	3078,48	14 100	4297,68	18 100	5516,88
2 200	670,56	6 200	1889,76	10 200	3108,96	14 200	4328,16	18 200	5547,36
2 300	701,04	6 300	1920,24	10 300	3139,44	14 300	4358,64	18 300	5577,84
2 400	731,52	6 400	1950,72	10 400	3169,92	14 400	4389,12	18 400	5608,32
2 500	762,00	6 500	1981,20	10 500	3200,40	14 500	4419,60	18 500	5638,80
2 600	792,48	6 600	2011,68	10 600	3230,88	14 600	4450,08	18 600	5669,28
2 700	822,96	6 700	2042,16	10 700	3261,36	14 700	4480,56	18 700	5699,76
2 800	853,44	6 800	2072,64	10 800	3291,84	14 800	4511,04	18 800	5730,24
2 900	883,92	6 900	2103,12	10 900	3322,32	14 900	4541,52	18 900	5760,72
3 000	914,40	7 000	2133,60	11 000	3352,80	15 000	4572,00	19 000	5791,20
3 100	944,88	7 100	2164,08	11 100	3383,28	15 100	4602,48	19 100	5821,68
3 200	975,36	7 200	2194,56	11 200	3413,76	15 200	4632,96	19 200	5852,16
3 300	1005,84	7 300	2225,04	11 300	3444,24	15 300	4663,44	19 300	5882,64
3 400	1036,32	7 400	2255,52	11 400	3474,72	15 400	4693,92	19 400	5913,12
3 500	1066,80	7 500	2286,00	11 500	3505,20	15 500	4724,40	19 500	5943,60
3 600	1097,28	7 600	2316,48	11 600	3535,68	15 600	4754,88	19 600	5974,08
3 700	1127,76	7 700	2346,96	11 700	3566,16	15 700	4785,36	19 700	6004,56
3 800	1158,24	7 800	2377,44	11 800	3596,64	15 800	4815,84	19 800	6035,04
3 900	1188,72	7 900	2407,92	11 900	3627,12	15 900	4846,32	19 900	6065,52
4 000	1219,20	8 000	2438,40	12 000	3657,60	16 000	4876,80	20 000	6096,00

TABLE DE CONVERSION DES GALLONS U.S. PAR MINUTE EN LITRES PAR MINUTE

gal (US)/mn	l/mn	gal (US)/mn	l/mn	gal (US)/mn	l/mn	gal (US)/mn	l/mn
40	151	370	1 401	700	2 650	1 030	3 899
50	189	380	1 438	710	2 688	1 040	3 937
60	227	390	1 476	720	2 725	1 050	3 975
70	265	400	1 514	730	2 763	1 060	4 012
80	303	410	1 552	740	2 801	1 070	4 050
90	341	420	1 590	750	2 839	1 080	4 088
100	379	430	1 628	760	2 877	1 090	4 126
110	416	440	1 666	770	2 915	1 100	4 164
120	454	450	1 703	780	2 953	1 110	4 202
130	492	460	1 741	790	2 990	1 120	4 240
140	530	470	1 779	800	3 028	1 130	4 277
150	568	480	1 817	810	3 066	1 140	4 315
160	606	490	1 855	820	3 104	1 150	4 353
170	644	500	1 893	830	3 142	1 160	4 391
180	681	510	1 931	840	3 180	1 170	4 429
190	719	520	1 968	850	3 218	1 180	4 467
200	757	530	2 006	860	3 255	1 190	4 505
210	795	540	2 044	870	3 293	1 200	4 542
220	833	550	2 082	880	3 331	1 210	4 580
230	871	560	2 120	890	3 369	1 220	4 618
240	908	570	2 158	900	3 407	1 230	4 656
250	946	580	2 195	910	3 445	1 240	4 694
260	984	590	2 233	920	3 483	1 250	4 732
270	1 022	600	2 271	930	3 520	1 260	4 770
280	1 060	610	2 309	940	3 558	1 270	4 807
290	1 098	620	2 347	950	3 596	1 280	4 845
300	1 136	630	2 385	960	3 634	1 290	4 883
310	1 173	640	2 423	970	3 672	1 300	4 921
320	1 211	650	2 460	980	3 710	1 310	4 959
330	1 249	660	2 498	990	3 747	1 320	4 997
340	1 287	670	2 536	1 000	3 785	1 330	5 034
350	1 325	680	2 574	1 010	3 823	1 340	5 072
360	1 363	690	2 612	1 020	3 861	1 350	5 110

TABLE DE CONVERSION DES BARILS PAR JOUR EN MÈTRES CUBES PAR JOUR ET EN MÈTRES CUBES PAR HEURE

bbl/day	m^3/j	m^3/h	bbl/day	m^3/j	m^3/h	bbl/day	m^3/j	m^3/h
5	0,795	0,033	310	49,285	2,054	2 100	333,87	13,911
10	1,590	0,066	320	50,875	2,120	2 200	349,76	14,573
15	2,385	0,099	330	52,465	2,186	2 300	365,66	15,236
20	3,180	0,132	340	54,055	2,252	2 400	381,56	15,898
25	3,975	0,166	350	55,644	2,319	2 500	397,46	16,561
30	4,770	0,199	360	57,234	2,385	2 600	413,36	17,223
35	5,564	0,232	370	58,824	2,451	2 700	429,26	17,886
40	6,359	0,265	380	60,414	2,517	2 800	445,16	18,548
45	7,154	0,298	390	62,004	2,583	2 900	461,05	19,211
50	7,949	0,331	400	63,594	2,650	3 000	476,95	19,873
55	8,744	0,364	410	65,183	2,716	3 100	492,85	20,535
60	9,539	0,397	420	66,773	2,782	3 200	508,75	21,198
65	10,334	0,431	430	68,363	2,848	3 300	524,65	21,860
70	11,129	0,464	440	69,953	2,915	3 400	540,55	22,523
75	11,924	0,497	450	71,543	2,981	3 500	556,44	23,185
80	12,719	0,530	460	73,133	3,047	3 600	572,34	23,848
85	13,514	0,563	470	74,722	3,113	3 700	588,24	24,510
90	14,309	0,596	480	76,312	3,180	3 800	604,14	25,172
95	15,103	0,629	490	77,902	3,246	3 900	620,04	25,835
100	15,898	0,662	500	79,492	3,312	4 000	635,94	26,497
110	17,488	0,729	550	87,441	3,643	4 500	715,43	29,809
120	19,078	0,795	600	95,390	3,975	5 000	794,92	33,122
130	20,668	0,861	650	103,34	4,306	5 500	874,41	36,434
140	22,258	0,927	700	111,29	4,637	6 000	953,90	39,746
150	23,848	0,994	750	119,24	4,968	6 500	1 033,4	43,058
160	25,437	1,060	800	127,19	5,299	7 000	1 112,9	46,370
170	27,027	1,126	850	135,14	5,631	7 500	1 192,4	49,682
180	28,617	1,192	900	143,09	5,962	8 000	1 271,9	52,995
190	30,207	1,259	950	151,03	6,293	8 500	1 351,4	56,307
200	31,797	1,325	1 000	158,98	6,624	9 000	1 430,9	59,619
210	33,387	1,391	1 100	174,88	7,287	9 500	1 510,3	62,931
220	34,976	1,457	1 200	190,78	7,949	10 000	1 589,8	66,243
230	36,566	1,524	1 300	206,68	8,612	10 500	1 669,3	69,555
240	38,156	1,590	1 400	222,58	9,274	11 000	1 748,8	72,868
250	39,746	1,656	1 500	238,48	9,936	11 500	1 828,3	76,180
260	41,336	1,722	1 600	254,37	10,599	12 000	1 907,8	79,492
270	42,926	1,789	1 700	270,27	11,261	12 500	1 987,3	82,804
280	44,516	1,855	1 800	286,17	11,924	13 000	2 066,8	86,116
290	46,105	1,921	1 900	302,07	12,586	13 500	2 146,3	89,428
300	47,695	1,987	2 000	317,97	13,249	14 000	2 225,8	92,741

TABLE DE CONVERSION DES MILLIONS DE PIEDS CUBES PAR JOUR EN MILLIERS DE MÈTRES CUBES PAR JOUR

10^6 ft^3/day	10^3 m^3/j	10^6 ft^3/day	10^3 m^3/j	10^6 ft^3/day	10^3 m^3/j	10^6 ft^3/day	10^3 m^3/j
0,05	1,416	11	311,48	31	877,82	51	1 444,2
0,10	2,832	12	339,80	32	906,14	52	1 472,5
0,20	5,663	13	368,12	33	934,45	53	1 500,8
0,30	8,495	14	396,44	34	962,77	54	1 529,1
0,40	11,327	15	424,75	35	991,09	55	1 557,4
0,50	14,158	16	453,07	36	1 019,4	56	1 585,7
0,60	16,990	17	481,39	37	1 047,7	57	1 614,1
0,70	19,822	18	509,70	38	1 076,0	58	1 642,4
0,80	22,653	19	538,02	39	1 104,4	59	1 670,7
0,90	25,485	20	566,34	40	1 132,7	60	1 699,0
1	28,317	21	594,65	41	1 161,0	61	1 727,3
2	56,634	22	622,97	42	1 189,3	62	1 755,6
3	84,950	23	651,29	43	1 217,6	63	1 784,0
4	113,27	24	679,60	44	1 245,9	64	1 812,3
5	141,58	25	707,92	45	1 274,3	65	1 840,6
6	169,90	26	736,24	46	1 302,6	66	1 868,9
7	198,22	27	764,55	47	1 330,9	67	1 897,2
8	226,53	28	792,87	48	1 359,2	68	1 925,5
9	254,85	29	821,19	49	1 387,5	69	1 953,9
10	283,17	30	849,50	50	1 415.8	70	1 982,2

TABLE DE CONVERSION DES LIVRES PAR POUCE CARRÉ EN KILOGRAMMES-FORCE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ ET EN BARS de 1 à 100 psi

psi	kgf/cm²	bars	psi	kgf/cm²	bars	psi	kgf/cm²	bars	psi	kgf/cm²	bars
1	0,070	0,069	26	1,828	1,793	51	3,586	3,516	76	5,343	5,240
2	0,141	0,138	27	1,898	1,862	52	3,656	3,585	77	5,414	5,309
3	0,211	0,207	28	1,969	1,931	53	3,726	3,654	78	5,484	5,378
4	0,281	0,276	29	2,039	1,999	54	3,797	3,723	79	5,554	5,447
5	0,352	0,345	30	2,109	2,068	55	3,867	3,792	80	5,625	5,516
6	0,422	0,414	31	2,180	2,137	56	3,937	3,861	81	5,695	5,585
7	0,492	0,483	32	2,250	2,206	57	4,007	3,930	82	5,765	5,654
8	0,562	0,552	33	2,320	2,275	58	4,078	3,999	83	5,835	5,723
9	0,633	0,621	34	2,390	2,344	59	4,148	4,068	84	5,906	5,792
10	0,703	0,689	35	2,461	2,413	60	4,218	4,137	85	5,976	5,861
11	0,773	0,758	36	2,531	2,482	61	4,289	4,206	86	6,046	5,929
12	0,844	0,827	37	2,601	2,551	62	4,359	4,275	87	6,117	5,998
13	0,914	0,896	38	2,672	2,620	63	4,429	4,344	88	6,187	6,067
14	0,984	0,965	39	2,742	2,689	64	4,500	4,413	89	6,257	6,136
15	1,055	1,034	40	2,812	2,758	65	4,570	4,482	90	6,328	6,205
16	1,125	1,103	41	2,883	2,827	66	4,640	4,551	91	6,398	6,274
17	1,195	1,172	42	2,953	2,896	67	4,711	4,619	92	6,468	6,343
18	1,266	1,241	43	3,023	2,965	68	4,781	4,688	93	6,539	6,412
19	1,336	1,310	44	3,094	3,034	69	4,851	4,757	94	6,609	6,481
20	1,406	1,379	45	3,164	3,103	70	4,921	4,826	95	6,679	6,550
21	1,476	1,448	46	3,234	3,172	71	4,992	4,895	96	6,749	6,619
22	1,547	1,517	47	3,304	3,241	72	5,062	4,964	97	6,820	6,688
23	1,617	1,586	48	3,375	3,309	73	5,132	5,033	98	6,890	6,757
24	1,687	1,655	49	3,445	3,378	74	5,203	5,102	99	6,960	6,826
25	1,758	1,724	50	3,515	3,447	75	5,273	5,171	100	7,031	6,895

TABLE DE CONVERSION DES CENTAINES DE LIVRES PAR POUCE CARRÉ EN KILOGRAMMES-FORCE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ ET EN BARS
de 100 à 10 000 psi

psi	kgf/cm²	bars	psi	kgf/cm²	bars	psi	kgf/cm²	bars	psi	kgf/cm²	bars
100	7,031	6,895	2 600	182,798	179,264	5 100	358,566	351,633	7 600	534,333	524,002
200	14,061	13,790	2 700	189,829	186,159	5 200	365,596	358,528	7 700	541,364	530,897
300	21,092	20,684	2 800	196,860	193,053	5 300	372,627	365,422	7 800	548,394	537,791
400	28,123	27,579	2 900	203,890	199,948	5 400	379,658	372,317	7 900	555,425	544,686
500	35,153	34,474	3 000	210,921	206,843	5 500	386,688	379,212	8 000	562,456	551,581
600	42,184	41,369	3 100	217,952	213,738	5 600	393,719	386,107	8 100	569,487	558,476
700	49,215	48,263	3 200	224,982	220,632	5 700	400,750	393,001	8 200	576,517	565,370
800	56,246	55,158	3 300	232,013	227,527	5 800	407,781	399,896	8 300	583,548	572,265
900	63,276	62,053	3 400	239,044	234,422	5 900	414,811	406,791	8 400	590,579	579,160
1 000	70,307	68,948	3 500	246,074	241,317	6 000	421,842	413,686	8 500	597,609	586,055
1 100	77,338	75,842	3 600	253,105	248,211	6 100	428,873	420,580	8 600	604,640	592,949
1 200	84,368	82,737	3 700	260,136	255,106	6 200	435,903	427,475	8 700	611,671	599,844
1 300	91,399	89,632	3 800	267,167	262,001	6 300	442,934	434,370	8 800	618,701	606,739
1 400	98,430	96,527	3 900	274,197	268,896	6 400	449,965	441,265	8 900	625,732	613,634
1 500	105,460	103,421	4 000	281,228	275,790	6 500	456,995	448,159	9 000	632,763	620,528
1 600	112,491	110,316	4 100	288,259	282,685	6 600	464,026	455,054	9 100	639,794	627,423
1 700	119,522	117,211	4 200	295,289	289,580	6 700	471,057	461,949	9 200	646,824	634,318
1 800	126,553	124,106	4 300	302,320	296,475	6 800	478,088	468,844	9 300	653,855	641,213
1 900	133,583	131,000	4 400	309,351	303,369	6 900	485,118	475,738	9 400	660,886	648,107
2 000	140,614	137,895	4 500	316,381	310,264	7 000	492,149	482,633	9 500	667,916	655,002
2 100	147,645	144,790	4 600	323,412	317,159	7 100	499,180	489,528	9 600	674,947	661,897
2 200	154,675	151,685	4 700	330,443	324,054	7 200	506,210	496,423	9 700	681,978	668,792
2 300	161,706	158,579	4 800	337,474	330,948	7 300	513,241	503,317	9 800	689,008	675,686
2 400	168,737	165,474	4 900	344,504	337,843	7 400	520,272	510,212	9 900	696,039	682,581
2 500	175,767	172,369	5 000	351,535	344,738	7 500	527,302	517,107	10 000	703,070	689,476

CORRESPONDANCE ENTRE TEMPÉRATURE FAHRENHEIT ET TEMPÉRATURE CELSIUS

$t\,°F = \frac{9}{5} t\,°C + 32$ $t\,°C = \frac{5}{9}(t\,°F - 32)$

INSTRUCTIONS

Prendre le nombre à convertir dans la colonne médiane. Lire le nombre correspondant - dans la colonne C, si °F → °C
- dans la colonne F, si °C → °F

Exemple

C		F
6,67	44	111,2

44° Celsius → 111,2° Fahrenheit
44° Fahrenheit → 6,67° Celsius

C		F	C		F	C		F	C		F	C		F
-17,8	0	32												
-16,7	2	35,6	-5,55	22	71,6	5,55	42	107,6	16,7	62	143,6	27,8	82	179,6
-15,6	4	39,2	-4,44	24	75,2	6,67	44	111,2	17,8	64	147,2	28,9	84	183,2
-14,4	6	42,8	-3,33	26	78,8	7,78	46	114,8	18,9	66	150,8	30	86	186,8
-13,3	8	46,4	-2,22	28	82,4	8,89	48	118,4	20	68	154,4	31,1	88	190,4
-12,2	10	50	-1,11	30	86	10	50	122	21,1	70	158	32,2	90	194
-11,1	12	53,6	0	32	89,6	11,1	52	125,6	22,2	72	161,6	33,3	92	197,6
-10	14	57,2	1,11	34	93,2	12,2	54	129,2	23,3	74	165,2	34,4	94	201,2
- 8,89	16	60,8	2,22	36	96,8	13,3	56	132,8	24,4	76	168,8	35,6	96	204,8
- 7,78	18	64,4	3,33	38	100,4	14,4	58	136,4	25,6	78	172,4	36,7	98	208,4
- 6,67	20	68	4,44	40	104	15,6	60	140	26,7	80	176	37,8	100	212
48,9	120	248	160	320	608	271	520	968	382	720	1328	493	920	1688
60	140	284	171	340	644	282	540	1004	393	740	1364	504	940	1724
71,1	160	320	182	360	680	293	560	1040	404	760	1400	516	960	1760
82,2	180	356	193	380	716	304	580	1076	416	780	1436	527	980	1796
93,3	200	392	204	400	752	316	600	1112	427	800	1472	538	1000	1832
104,4	220	428	216	420	788	327	620	1148	438	820	1508	549	1020	1868
115,6	240	464	227	440	824	338	640	1184	449	840	1544	560	1040	1904
126,7	260	500	238	460	860	349	660	1220	460	860	1580	571	1060	1940
137,8	280	536	249	480	896	360	680	1256	471	880	1616	582	1080	1976
148,9	300	572	260	500	932	371	700	1292	482	900	1652	593	1100	2012

TABLE D'INTERPOLATION

C	0,56	1,11	1,67	2,22	2,78	3,33	3,89	4,44	5	5,56	6,11	6,67	7,22	7,78	8,33	8,89	9,44	10	10,56	11,11
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F	1,8	3,6	5,4	7,2	9	10,8	12,6	14,4	16,2	18	19,8	21,6	23,4	25,2	27	28,8	30,6	32,4	34,2	36

CORRESPONDANCE ENTRE DENSITÉ ET DEGRÉ A.P.I.
à 15,56 °C par rapport à l'eau à 15,56 °C et 760 mm de mercure

Densités	Degrés A.P.I.	Densités	Degrés A.P.I.	Densités	Degrés A.P.I.	Densités	Degrés A.P.I.	Densités	Degrés A.P.I.	Densités	Degrés A.P.I.	Densités	Degrés A.P.I.	Densités	Degrés A.P.I.	Densités	Degrés A.P.I.
0,600	104,3	0,650	86,2	0,700	70,6	0,750	57,2	0,800	45,4	0,850	35,0	0,900	25,7	0,950	17,5	1,000	10,0
0,602	103,5	0,652	85,5	0,702	70,1	0,752	56,7	0,802	44,9	0,852	34,6	0,902	25,4	0,952	17,1	1,002	9,7
0,604	102,8	0,654	84,9	0,704	69,5	0,754	56,2	0,804	44,5	0,854	34,2	0,904	25,0	0,954	16,8	1,004	9,4
0,606	102,0	0,656	84,2	0,706	68,9	0,756	55,7	0,806	44,1	0,856	33,8	0,906	24,7	0,956	16,5	1,006	9,2
0,608	101,2	0,658	83,6	0,708	68,4	0,758	55,2	0,808	43,6	0,858	33,4	0,908	24,3	0,958	16,2	1,008	8,9
0,610	100,5	0,660	82,9	0,710	67,8	0,760	54,7	0,810	43,2	0,860	33,0	0,910	24,0	0,960	15,9	1,010	8,6
0,612	99,7	0,662	82,2	0,712	67,2	0,762	54,2	0,812	42,8	0,862	32,7	0,912	23,7	0,962	15,6	1,012	8,3
0,614	99,0	0,664	81,6	0,714	66,7	0,764	53,7	0,814	42,3	0,864	32,3	0,914	23,3	0,964	15,3	1,014	8,1
0,616	98,2	0,666	81,0	0,716	66,1	0,766	53,2	0,816	41,9	0,866	31,9	0,916	23,0	0,966	15,0	1,016	7,8
0,618	97,5	0,668	80,3	0,718	65,6	0,768	52,7	0,818	41,5	0,868	31,5	0,918	22,6	0,968	14,7	1,018	7,5
0,620	96,7	0,670	79,7	0,720	65,0	0,770	52,3	0,820	41,1	0,870	31,1	0,920	22,3	0,970	14,4	1,020	7,2
0,622	96,0	0,672	79,1	0,722	64,5	0,772	51,8	0,822	40,6	0,872	30,8	0,922	22,0	0,972	14,1	1,022	7,0
0,624	95,3	0,674	78,4	0,724	63,9	0,774	51,3	0,824	40,2	0,874	30,4	0,924	21,6	0,974	13,8	1,024	6,7
0,626	94,5	0,676	77,8	0,726	63,4	0,776	50,9	0,826	39,8	0,876	30,0	0,926	21,3	0,976	13,5	1,026	6,4
0,628	93,8	0,678	77,2	0,728	62,9	0,778	50,4	0,828	39,4	0,878	29,7	0,928	21,0	0,978	13,2	1,028	6,2
0,630	93,1	0,680	76,6	0,730	62,3	0,780	49,9	0,830	39,0	0,880	29,3	0,930	20,7	0,980	12,9	1,030	5,9
0,632	92,4	0,682	76,0	0,732	61,8	0,782	49,5	0,832	38,6	0,882	28,9	0,932	20,3	0,982	12,6	1,032	5,6
0,634	91,7	0,684	75,4	0,734	61,3	0,784	49,0	0,834	38,2	0,884	28,6	0,934	20,0	0,984	12,3	1,034	5,4
0,636	91,0	0,686	74,8	0,736	60,8	0,786	48,5	0,836	37,8	0,886	28,2	0,936	19,7	0,986	12,0	1,036	5,1
0,638	90,3	0,688	74,2	0,738	60,2	0,788	48,1	0,838	37,4	0,888	27,9	0,938	19,4	0,988	11,7	1,038	4,8
0,640	89,6	0,690	73,6	0,740	59,7	0,790	47,6	0,840	37,0	0,890	27,5	0,940	19,0	0,990	11,4	1,040	4,6
0,642	88,9	0,692	73,0	0,742	59,2	0,792	47,2	0,842	36,6	0,892	27,1	0,942	18,7	0,992	11,1	1,042	4,3
0,644	88,2	0,694	72,4	0,744	58,7	0,794	46,7	0,844	36,2	0,894	26,8	0,944	18,4	0,994	10,9	1,044	4,0
0,646	87,5	0,696	71,8	0,746	58,2	0,796	46,3	0,846	35,8	0,896	26,4	0,946	18,1	0,996	10,6	1,046	3,8
0,648	86,9	0,698	71,2	0,748	57,7	0,798	45,8	0,848	35,4	0,898	26,0	0,948	17,8	0,998	10,3	1,048	3,5

$$\text{Degrés A.P.I.} = \frac{141,5}{d\,(15,56°C/15,56°C)} - 131,5$$

d (15,56°C/15,56°C) = specific gravity (60°F/60°F)

Correction approximative de température pour ramener les lectures à 15°C

Densité	Correction pour 1°C
de 0,600 à 0,700	0,0009
de 0,700 à 0,800	0,0008
de 0,800 à 0,840	0,00075
de 0,840 à 0,800	0,0007
de 0,880 à 0,920	0,00065
de 0,920 à 1,000	0,0006

Correction à :
ajouter si t > 15°C
retrancher si t < 15°C

CONVERSION DES VISCOSITÉS CINÉMATIQUES
de 2 à 51 centistokes

cSt	Degrés Engler	Secondes Saybolt à :			Secondes Redwood à :			cSt	Degrés Engler	Secondes Saybolt à :			Secondes Redwood à :		
		100°F (37,8°C)	130°F (54,4°C)	210°F (98,9°C)	70°F (21,1°C)	140°F (60°C)	200°F 93,3°C)			100°F (37,8°C)	130°F (54,4°C)	210°F (98,9°C)	70°F (21,1°C)	140°F (60°C)	200°F (93,3°C)
2	1,140	32,60	32,65	32,83	30,20	30,95	31,20	27	3,695	127,7	127,9	128,6	111,9	112,5	114,0
3	1,224	36,00	36,07	36,25	32,70	33,45	33,70	28	3,820	132,1	132,4	133,0	115,8	116,5	118,0
4	1,308	39,10	39,17	39,37	35,30	35,95	36,30	29	3,945	136,5	136,8	137,5	119,7	120,4	122,0
5	1,400	42,30	42,38	42,60	37,90	38,45	38,90	30	4,070	140,9	141,2	141,9	123,7	124,4	126,0
6	1,481	45,50	45,59	45,82	40,50	41,05	41,50	31	4,195	145,3	145,6	146,3	127,5	128,3	130,1
7	1,563	48,70	48,79	49,04	43,20	43,70	44,15	32	4,320	149,7	150,0	150,8	131,5	132,3	134,1
8	1,653	52,00	52,10	52,36	46,00	46,35	46,90	33	4,445	154,2	154,5	155,3	135,1	136,3	138,1
9	1,746	55,40	55,51	55,79	48,85	49,10	49,63	34	4,570	158,7	159,0	159,8	139,3	140,2	142,2
10	1,837	58,80	58,91	59,21	51,70	52,00	52,55	35	4,695	163,2	163,5	164,3	143,3	144,2	146,2
11	1,928	62,30	62,42	62,74	54,75	55,00	55,60	36	4,825	167,7	168,0	168,9	147,2	148,2	150,3
12	2,020	65,90	66,03	66,36	57,90	58,10	58,75	37	4,955	172,2	172,5	173,4	151,2	152,2	154,2
13	2,120	69,80	69,73	70,09	61,05	61,30	61,95	38	5,080	176,7	177,0	177,9	155,2	156,2	158,3
14	2,219	73,40	73,54	73,91	64,35	64,55	65,25	39	5,205	181,2	181,5	182,5	159,2	160,3	162,5
15	2,323	77,20	77,35	77,74	67,70	67,95	68,75	40	5,335	185,7	186,0	187,0	163,2	164,3	166,7
16	2,434	81,10	81,25	81,67	71,15	71,40	72,20	41	5,465	190,2	190,6	191,5	167,2	168,3	170,8
17	2,540	85,10	85,26	85,70	74,65	74,85	75,75	42	5,590	194,7	195,1	196,1	171,2	172,3	175,0
18	2,644	89,20	89,37	89,82	78,10	78,45	79,35	43	5,720	199,2	199,6	200,6	175,2	176,4	179,2
19	2,755	93,30	93,48	93,95	81,70	82,10	83,10	44	5,845	203,8	204,2	205,2	179,2	180,4	183,3
20	2,870	97,50	97,69	98,18	85,40	85,75	86,90	45	5,975	208,4	208,8	209,9	183,2	184,5	187,5
21	2,984	101,7	101,9	102,4	89,20	89,50	90,70	46	6,105	213,0	213,4	214,5	187,2	188,5	191,7
22	3,100	106,0	106,2	106,7	92,90	93,25	94,50	47	6,235	217,6	218,0	219,1	191,2	192,6	195,8
23	3,215	110,3	110,5	111,1	96,70	97,05	98,30	48	6,365	222,2	222,6	223,8	195,3	196,6	200,0
24	3,335	114,6	114,8	115,4	100,4	100,9	102,2	49	6,495	226,8	227,2	228,4	199,2	200,7	204,2
25	3,455	118,9	119,1	119,7	104,2	104,7	106,1	50	6,630	231,4	231,8	233,0	203,3	204,7	208,3
26	3,575	123,3	123,5	124,2	108,1	108,6	110,0	51	6,760	236,0	236,4	237,6	207,3	208,8	212,5

CONVERSION DES VISCOSITÉS CINÉMATIQUES (suite)
de 52 à 3 000 centistokes

cSt	Degrés Engler	Secondes Saybolt à :			Secondes Redwood à :			cSt	Degrés Engler	Secondes Saybolt à :			Secondes Redwood à :		
		100°F (37,8°C)	130°F (54,4°C)	210°F (98,9°C)	70°F (21,1°C)	140°F (60°C)	200°F (93,3°C)			100°F (37,8°C)	130°F (54,4°C)	210°F (98,9°C)	70°F (21,1°C)	140°F (60°C)	200°F (93,3°C)
52	6,890	240,6	241,1	242,3	211,3	212,8	216,7	170	22,398	785,4	786,9	790,9	688,3	693,9	709,4
54	7,106	249,9	250,3	251,6	219,3	221,0	225,0	180	23,718	831,6	833,2	837,4	728,8	734,8	750,1
56	7,370	259,0	259,5	260,8	227,4	229,1	233,4	190	25,038	877,8	879,5	884,0	769,3	775,6	791,7
58	7,633	268,2	268,7	270,1	235,5	237,2	241,7	200	26,358	924,0	925,8	930,5	809,8	816,4	833,4
60	7,896	277,4	277,9	279,3	243,5	245,3	250,0	220	28,998	1 016,4	1 018,4	1 023,5	890,8	898,0	916,7
62	8,159	286,6	287,2	288,6	251,5	253,5	258,4	240	31,642	1 108,8	1 111,0	1 116,6	971,8	979,7	1 000,1
64	8,422	295,8	296,4	297,9	259,6	261,6	266,7	260	34,282	1 201,2	1 203,5	1 209,6	1 052,7	1 061,3	1 083,5
66	8,686	305,0	305,6	307,1	267,7	269,8	275,0	280	36,922	1 293,6	1 296,1	1 302,7	1 133,7	1 143,0	1 166,7
68	8,949	314,2	314,8	316,4	275,8	277,9	283,4	300	39,562	1 386,0	1 388,7	1 395,7	1 214,7	1 224,6	1 250,1
70	9,212	323,4	324,0	325,7	283,9	286,0	291,7	350	46,162	1 617,0	1 620,1	1 628,3	1 417,1	1 428,7	1 458,6
72	9,475	332,6	333,3	335,0	291,9	294,1	300,0	400	52,762	1 848,0	1 851,6	1 861,0	1 619,6	1 632,8	1 666,8
74	9,738	341,9	342,5	344,3	300,0	302,2	308,4	450	59,362	2 079,0	2 083,1	2 093,6	1 822,0	1 836,8	1 875,0
76	9,982	351,1	351,8	353,6	307,7	310,2	316,7	500	65,962	2 310,0	2 314,5	2 326,2	2 024,5	2 041,0	2 083,5
78	10,246	360,4	361,1	362,9	315,8	318,4	325,1	550	72,562	2 541,0	2 546,0	2 558,8	2 227,0	2 245,0	2 291,9
80	10,510	369,6	370,3	372,2	323,9	326,6	333,4	600	79,162	2 772,0	2 777,4	2 791,4	2 429,4	2 449,2	2 500,2
82	10,774	378,8	379,6	381,5	332,0	334,8	341,7	650	85,753	3 003,0	3 009,9	3 024,1	2 631,9	2 653,2	2 708,7
84	11,038	388,1	388,7	390,8	340,1	342,9	350,0	700	92,303	3 234,0	3 240,3	3 256,7	2 834,3	2 857,2	2 916,9
86	11,302	397,3	398,1	400,1	348,2	351,1	358,4	750	98,853	3 465,0	3 472,0	3 489,0	3 040,0	3 061,6	3 125,3
88	11,566	406,6	407,4	409,4	356,3	359,2	366,7	800	105,403	3 696	3 703	3 722	3 239	3 266	3 334
90	11,830	415,8	416,6	418,7	364,4	367,4	375,0	850	111,94	3 927	3 935	3 955	3 442	3 470	3 542
92	12,094	425,0	425,9	428,0	372,5	375,6	383,4	900	118,48	4 158	4 166	4 187	3 644	3 674	3 750
94	12,358	434,3	436,1	437,3	380,6	383,7	391,7	950	125,05	4 389	4 398	4 420	3 847	3 878	3 959
96	12,622	443,5	444,4	446,6	388,7	391,9	400,0	1 000	131,63	4 620	4 629	4 652	4 049	4 082	4 167
98	12,886	452,8	453,6	455,9	396,8	400,1	408,4	1 100	144,79	5 082	5 092	5 118	4 454	4 490	4 584
100	13,152	462,0	462,9	465,2	404,9	408,2	416,7	1 200	157,96	5 544	5 555	5 583	4 859	4 898	5 000
110	14,474	508,2	509,2	511,8	445,4	449,0	458,4	1 300	171,12	6 006	6 018	6 048	5 264	5 307	5 417
120	15,794	554,4	555,5	558,3	485,9	489,8	500,0	1 400	184,28	6 468	6 481	6 513	5 669	5 715	5 834
130	17,118	600,6	601,8	604,8	526,4	530,7	541,7	1 500	197,44	6 930	6 944	6 979	6 074	6 123	6 250
140	18,438	646,8	648,1	651,3	566,9	571,5	583,4	2 000	263,26	9 240	9 258	-	8 098	8 164	-
150	19,758	693,0	694,4	697,9	607,4	612,3	625,0	2 500	329,08	11550	11573	-	10123	10205	-
160	21,078	739,2	740,6	744,4	647,9	653,1	666,7	3 000	394,89	13860	13887	-	12147	12246	-

NOMBRES REMARQUABLES

π	3, 1415927	$\frac{1}{\pi}$	0, 3183099	$\frac{\pi}{2}$	1, 5707963	$\frac{\pi}{180}$	0, 0174533
π^2	9, 8696044	$\frac{1}{\pi^2}$	0, 1013212	$\frac{\pi}{3}$	1, 0471976	$\frac{\pi}{200}$	0, 0157080
π^3	31, 0062767	$\frac{1}{\pi^3}$	0, 0322515	$\frac{\pi}{4}$	0, 7853982	$\frac{180}{\pi}$	57, 2957795
$\sqrt{\pi}$	1, 7724539	$\frac{1}{\sqrt{\pi}}$	0, 5641896	$\frac{4\pi}{3}$	4, 1887902	$\frac{200}{\pi}$	63, 6619763
$\sqrt[3]{\pi}$	1, 4645919	$\frac{1}{\sqrt[3]{\pi}}$	0, 6827840				
$\sqrt{2}$	1, 414214	$\sqrt{3}$	1, 732051	$\sqrt{5}$	2, 236068	$\sqrt{10}$	3, 162278
$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0, 70711	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0, 57735	$\frac{1}{\sqrt{5}}$	0, 44721	$\frac{1}{\sqrt{10}}$	0, 31623
e	2, 7182818	$\frac{1}{e}$	0, 3678794	$\log_{10} e$ =	0, 4342945	g =	9, 80665 m/s^2
$\frac{1}{\log_{10} e}$ = colog e = $\log_e 10$ = 2, 3025851				$\log_e x = 2,3025851 \log_{10} x$		$\log_{10} x = 0,4342945 \log_e x$	

Progression arithmétique

a   a + r   a + 2 r   a + 3 r . . .   a + (n - 1) r

$$S_n = \left(\frac{a + \ell}{2}\right) n = \frac{n}{2}\left[2\,a + (n-1)\,r\right]$$

a : premier terme
r : raison
n : nombre de termes
ℓ : dernier terme = a + (n-1) r

Progression géométrique

a   aq aq^2 aq^3 . . . . . aq^{n-1}

Si $q \neq 1$ $$S_n = \frac{\ell q - a}{q - 1} = \frac{a\,(q^n - 1)}{q - 1}$$

a : premier terme
q : raison
n : nombre de termes
ℓ : dernier terme = $a\,q^{n-1}$

FONCTIONS SIMPLES DES NOMBRES DE 1 A 25

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	π n	$\frac{1}{4}\pi n^2$	Log n
1	1	1	1,0000	1,0000	1,0000	3,1416	0,7854	0,00000
2	4	8	1,4142	1,2599	0,5000	6,2832	3,1416	0,30103
3	9	27	1,7321	1,4422	0,3333	9,425	7,0686	0,47712
4	16	64	2,0000	1,5874	0,2500	12,57	12,566	0,60206
5	25	125	2,2361	1,7100	0,2000	15,71	19,635	0,69897
6	36	216	2,4495	1,8171	0,1667	18,85	28,274	0,77815
7	49	343	2,6458	1,9129	0,1429	21,99	38,485	0,84510
8	64	512	2,8284	2,0000	0,1250	25,13	50,266	0,90309
9	81	729	3,0000	2,0801	0,1111	28,27	63,617	0,95424
10	100	1000	3,1623	2,1544	0,1000	31,42	78,540	1,00000
11	121	1331	3,3166	2,2240	0,0909	34,56	95,033	1,04139
12	144	1728	3,4641	2,2894	0,0833	37,70	113,10	1,07918
13	169	2197	3,6056	2,3513	0,0769	40,84	132,73	1,11394
14	196	2744	3,7417	2,4101	0,0714	43,98	153,94	1,14613
15	225	3375	3,8730	2,4662	0,0667	47,12	176,72	1,17609
16	256	4096	4,0000	2,5198	0,0625	50,27	201,06	1,20412
17	289	4913	4,1231	2,5713	0,0588	53,41	226,98	1,23045
18	324	5832	4,2426	2,6207	0,0556	56,55	254,47	1,25527
19	361	6859	4,3589	2,6684	0,0526	59,69	283,53	1,27875
20	400	8000	4,4721	2,7144	0,0500	62,83	314,16	1,30103
21	441	9261	4,5826	2,7589	0,0476	65,97	346,36	1,32222
22	484	10648	4,6904	2,8020	0,0454	69,12	380,13	1,34242
23	529	12167	4,7958	2,8439	0,0435	72,26	415,48	1,36173
24	576	13824	4,8990	2,8845	0,0416	75,40	452,39	1,38021
25	625	15625	5,000	2,9240	0,0400	78,54	490,87	1,39794

FONCTIONS SIMPLES DES NOMBRES DE 26 A 50

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	πn	$\frac{1}{4}\pi n$	Log n
26	676	17576	5,0990	2,9625	0,0385	81,68	530,93	1,41497
27	729	19683	5,1962	3,0000	0,0370	84,82	572,56	1,43136
28	784	21952	5,2915	3,0366	0,0357	87,96	615,75	1,44716
29	841	24389	5,3852	3,0723	0,0345	91,11	660,52	1,46240
30	900	27000	5,4772	3,1072	0,0333	94,25	706,86	1,47712
31	961	29791	5,5678	3,1414	0,0323	97,39	754,77	1,49136
32	1024	32768	5,6569	3,1748	0,0312	100,53	804,25	1,50515
33	1089	35937	5,7446	3,2075	0,0303	103,7	855,30	1,51851
34	1156	39304	5,8310	3,2396	0,0294	106,8	907,92	1,53148
35	1225	42875	5,9161	3,2711	0,0286	110,0	962,11	1,54407
36	1296	46656	6,0000	3,3019	0,0278	113,1	1017,9	1,55630
37	1369	50653	6,0828	3,3322	0,0270	116,2	1075,2	1,56820
38	1444	54872	6,1644	3,3620	0,0263	119,4	1134,1	1,57978
39	1521	59319	6,2450	3,3912	0,0256	122,5	1194,6	1,59106
40	1600	64000	6,3246	3,4200	0,0250	125,7	1256,6	1,60206
41	1681	68921	6,4031	3,4482	0,0244	128,8	1320,3	1,61278
42	1764	74088	6,4807	3,4760	0,0238	131,9	1385,4	1,62325
43	1849	79507	6,5574	3,5034	0,0233	135,1	1452,2	1,63347
44	1936	85184	6,6332	3,5303	0,0227	138,2	1520,5	1,64345
45	2025	91125	6,7082	3,5569	0,0222	141,4	1590,4	1,65321
46	2116	97336	6,7823	3,5830	0,0217	144,5	1661,9	1,66276
47	2209	103823	6,8557	3,6088	0,0213	147,7	1734,9	1,67210
48	2304	110592	6,9282	3,6342	0,0208	150,8	1809,6	1,68124
49	2401	117649	7,0000	3,6593	0,0204	153,9	1885,7	1,69020
50	2500	125000	7,0711	3,6840	0,0200	157,1	1963,5	1,69897

FONCTIONS SIMPLES DES NOMBRES DE 51 A 75

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	πn	$\frac{1}{4}\pi n^2$	Log n
51	2601	132651	7,1414	3,7084	0,0196	160,2	2 042,8	1,70757
52	2704	140608	7,2111	3,7325	0,0192	163,4	2 123,7	1,71600
53	2809	148877	7,2801	3,7563	0,0189	166,5	2 206,2	1,72428
54	2916	157464	7,3485	3,7798	0,0185	169,6	2 290,2	1,73239
55	3025	166375	7,4162	3,8030	0,0182	172,8	2 375,8	1,74036
56	3136	175616	7,4833	3,8259	0,0179	175,9	2 463,0	1,74819
57	3249	185193	7,5498	3,8485	0,0175	179,1	2 551,8	1,75587
58	3364	195112	7,6158	3,8709	0,0172	182,2	2 642,1	1,76343
59	3481	205379	7,6811	3,8930	0,0169	185,4	2 734,0	1,77085
60	3600	216000	7,7460	3,9149	0,0167	188,5	2 827,4	1,77815
61	3721	226981	7,8102	3,9365	0,0164	191,6	2 922,5	1,78533
62	3844	238328	7,8740	3,9579	0,0161	194,8	3 019,1	1,79239
63	3969	250047	7,9373	3,9791	0,0159	197,9	3 117,3	1,79934
64	4096	262144	8,0000	4,0000	0,0156	201,1	3 217,0	1,80618
65	4225	274625	8,0623	4,0207	0,0154	204,2	3 318,3	1,81291
66	4356	287496	8,1240	4,0412	0,0151	207,3	3 421,2	1,81954
67	4489	300763	8,1854	4,0615	0,0149	210,5	3 525,7	1,82607
68	4624	314432	8,2462	4,0817	0,0147	213,6	3 631,7	1,83251
69	4761	328509	8,3066	4,1016	0,0145	216,8	3 739,3	1,83885
70	4900	343000	8,3666	4,1213	0,0143	219,9	3 848,5	1,84510
71	5041	357911	8,4261	4,1408	0,0141	223,1	3 959,2	1,85126
72	5184	373248	8,4853	4,1602	0,0139	226,2	4 071,5	1,85733
73	5329	389017	8,5440	4,1793	0,0137	229,3	4 185,4	1,86332
74	5476	405224	8,6023	4,1983	0,0135	232,5	4 300,8	1,86923
75	5625	421875	8,6603	4,2172	0,0133	235,6	4 417,9	1,87506

FONCTIONS SIMPLES DES NOMBRES DE 76 A 100

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	πn	$\frac{1}{4}\pi n^2$	Log n
76	5776	438976	8,7178	4,2358	0,0132	238,8	4536,5	1,88081
77	5929	456533	8,7750	4,2543	0,0130	241,9	4656,6	1,88649
78	6084	474552	8,8318	4,2727	0,0128	245,0	4778,4	1,89209
79	6241	493039	8,8882	4,2908	0,0127	248,2	4901,7	1,89763
80	6400	512000	8,9443	4,3089	0,0125	251,3	5026,6	1,90309
81	6561	531441	9,0000	4,3267	0,0123	254,5	5153,0	1,90849
82	6724	551368	9,0554	4,3445	0,0122	257,6	5281,0	1,91381
83	6889	571787	9,1104	4,3621	0,0120	260,8	5410,6	1,91908
84	7056	592704	9,1652	4,3795	0,0119	263,9	5541,8	1,92428
85	7225	614125	9,2195	4,3968	0,0118	267,0	5674,5	1,92942
86	7396	636056	9,2736	4,4140	0,0116	270,2	5808,8	1,93450
87	7569	658503	9,3274	4,4310	0,0115	273,3	5944,7	1,93952
88	7744	681472	9,3808	4,4480	0,0114	276,5	6082,1	1,94448
89	7921	704969	9,4340	4,4647	0,0112	279,6	6221,1	1,94939
90	8100	729000	9,4868	4,4814	0,0111	282,7	6361,7	1,95424
91	8281	753571	9,5394	4,4979	0,0110	285,9	6503,9	1,95904
92	8464	778688	9,5917	4,5144	0,0109	289,0	6647,6	1,96379
93	8649	804357	9,6437	4,5307	0,0107	292,2	6792,9	1,96848
94	8836	830584	9,6954	4,5468	0,0106	295,3	6939,8	1,97313
95	9025	857375	9,7468	4,5629	0,0105	298,5	7088,2	1,97772
96	9216	884736	9,7980	4,5789	0,0104	301,6	7238,2	1,98227
97	9409	912673	9,8489	4,5947	0,0103	304,7	7389,8	1,98677
98	9604	941192	9,8995	4,6104	0,0102	307,9	7543,0	1,99123
99	9801	970299	9,9499	4,6261	0,0101	311,0	7697,7	1,99564
100	10000	1000000	10,0000	4,6416	0,0100	314,2	7854,0	2,00000

VALEURS NATURELLES DES SINUS (DE 0° A 45°) ET DES COSINUS (DE 45° A 90°)

SINUS							
Degrés	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	86
4	0,070	0,073	0,076	0,078	0,081	0,084	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	84
6	0,105	0,107	0,110	0,113	0,116	0,119	83
7	0,122	0,125	0,128	0,131	0,133	0,136	82
8	0,139	0,142	0,145	0,148	0,151	0,154	81
9	0,156	0,159	0,162	0,165	0,168	0,171	80
10	0,174	0,177	0,179	0,182	0,185	0,188	79
11	0,191	0,194	0,197	0,199	0,202	0,205	78
12	0,208	0,211	0,214	0,216	0,219	0,222	77
13	0,225	0,228	0,231	0,233	0,236	0,239	76
14	0,242	0,245	0,248	0,250	0,253	0,256	75
15	0,259	0,262	0,264	0,267	0,270	0,273	74
16	0,276	0,278	0,281	0,284	0,287	0,290	73
17	0,292	0,295	0,298	0,301	0,303	0,306	72
18	0,309	0,312	0,315	0,317	0,320	0,323	71
19	0,326	0,328	0,331	0,334	0,337	0,339	70
20	0,342	0,345	0,347	0,350	0,353	0,356	69
21	0,358	0,361	0,364	0,367	0,369	0,372	68
22	0,375	0,377	0,380	0,383	0,385	0,388	67
23	0,391	0,393	0,396	0,399	0,401	0,404	66
24	0,407	0,409	0,412	0,415	0,417	0,420	65
25	0,423	0,425	0,428	0,431	0,433	0,436	64
26	0,438	0,441	0,444	0,446	0,449	0,451	63
27	0,454	0,457	0,459	0,462	0,464	0,467	62
28	0,469	0,472	0,475	0,477	0,480	0,482	61
29	0,485	0,487	0,490	0,492	0,495	0,497	60
30	0,500	0,503	0,505	0,508	0,510	0,513	59
31	0,515	0,518	0,520	0,522	0,525	0,527	58
32	0,530	0,532	0,535	0,537	0,540	0,542	57
33	0,545	0,547	0,550	0,552	0,554	0,557	56
34	0,559	0,562	0,564	0,566	0,569	0,571	55
35	0,574	0,576	0,578	0,581	0,583	0,585	54
36	0,588	0,590	0,592	0,595	0,597	0,599	53
37	0,602	0,604	0,606	0,609	0,611	0,613	52
38	0,616	0,618	0,620	0,623	0,625	0,627	51
39	0,629	0,632	0,634	0,636	0,638	0,641	50
40	0,643	0,645	0,647	0,649	0,652	0,654	49
41	0,656	0,658	0,660	0,663	0,665	0,667	48
42	0,669	0,671	0,673	0,676	0,678	0,680	47
43	0,682	0,684	0,686	0,688	0,690	0,693	46
44	0,695	0,697	0,699	0,701	0,703	0,705	45
45	0,707						44
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	Degrés
							COSINUS

VALEURS NATURELLES DES SINUS (DE 45° A 90°) ET DES COSINUS (DE 0° A 45°)

COSINUS							
Degrés	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	89
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	88
2	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	87
3	0,999	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	86
4	0,998	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	85
5	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	84
6	0,995	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	83
7	0,993	0,992	0,992	0,991	0,991	0,991	82
8	0,990	0,990	0,989	0,989	0,989	0,988	81
9	0,988	0,987	0,987	0,986	0,986	0,985	80
10	0,985	0,984	0,984	0,983	0,983	0,982	79
11	0,982	0,981	0,981	0,980	0,979	0,979	78
12	0,978	0,978	0,977	0,976	0,976	0,975	77
13	0,974	0,974	0,973	0,972	0,972	0,971	76
14	0,970	0,970	0,969	0,968	0,967	0,967	75
15	0,966	0,965	0,964	0,964	0,963	0,962	74
16	0,961	0,960	0,960	0,959	0,958	0,957	73
17	0,956	0,955	0,955	0,954	0,953	0,952	72
18	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,946	71
19	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942	0,941	70
20	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	69
21	0,934	0,933	0,931	0,930	0,929	0,928	68
22	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922	67
23	0,921	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	66
24	0,914	0,912	0,911	0,910	0,909	0,908	65
25	0,906	0,905	0,904	0,903	0,901	0,900	64
26	0,899	0,898	0,896	0,895	0,894	0,892	63
27	0,891	0,890	0,888	0,887	0,886	0,884	62
28	0,883	0,882	0,880	0,879	0,877	0,876	61
29	0,875	0,873	0,872	0,870	0,869	0,867	60
30	0,866	0,865	0,863	0,862	0,860	0,859	59
31	0,857	0,856	0,854	0,853	0,851	0,850	58
32	0,848	0,847	0,845	0,843	0,842	0,840	57
33	0,839	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	56
34	0,829	0,827	0,826	0,824	0,822	0,821	55
35	0,819	0,817	0,816	0,814	0,812	0,811	54
36	0,809	0,807	0,806	0,804	0,802	0,800	53
37	0,799	0,797	0,795	0,793	0,792	0,790	52
38	0,788	0,786	0,784	0,783	0,781	0,779	51
39	0,777	0,775	0,773	0,772	0,770	0,768	50
40	0,766	0,764	0,762	0,760	0,759	0,757	49
41	0,755	0,753	0,751	0,749	0,747	0,745	48
42	0,743	0,741	0,739	0,737	0,735	0,733	47
43	0,731	0,729	0,727	0,725	0,723	0,721	46
44	0,719	0,717	0,715	0,713	0,711	0,709	45
45	0,707						44
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	Degrés
							SINUS

RELATIONS TRIGONOMÉTRIQUES

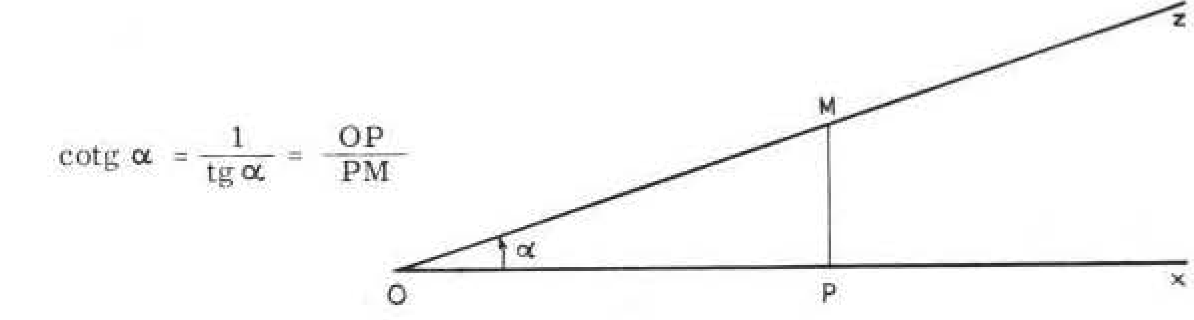
Définition

$$\cos\alpha = \frac{OP}{OM}$$

$$\sin\alpha = \frac{PM}{OM}$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{PM}{OP}$$

$$\operatorname{cotg}\alpha = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{OP}{PM}$$



Interprétation géométrique

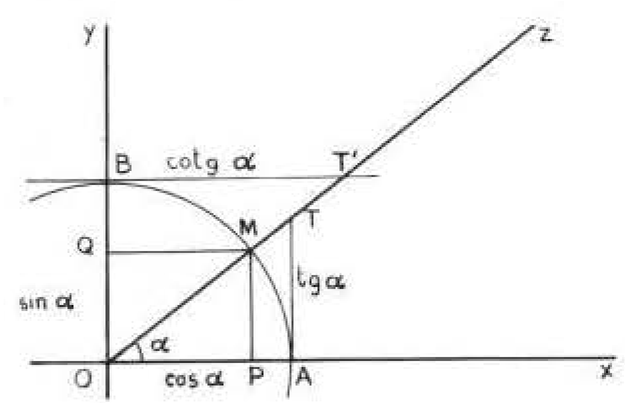
$\overline{OA} = \overline{OM} = R = 1$

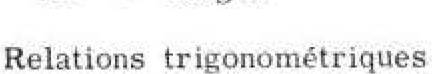
$\overline{OQ} = \sin\alpha$

$\overline{OP} = \cos\alpha$

$\overline{AT} = \operatorname{tg}\alpha$

$\overline{BT'} = \operatorname{cotg}\alpha$





Relations trigonométriques

$$\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

$$\operatorname{cotg}\alpha = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}$$

$$\sin(\alpha+\beta) = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta$$

$$\cos(\alpha+\beta) = \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta$$

$$\sin(\alpha-\beta) = \sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta$$

$$\cos(\alpha-\beta) = \cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta$$

$$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha$$

$$= 1 - 2\sin^2\alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\operatorname{tg}\alpha}{1-\operatorname{tg}^2\alpha}$$

$$\operatorname{tg}(\alpha+\beta) = \frac{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta}{1 - \operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\beta}$$

$$\operatorname{tg}(\alpha-\beta) = \frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}{1 + \operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\beta}$$

Valeurs des lignes trigonométriques en fonction de la tangente de l'arc moitié

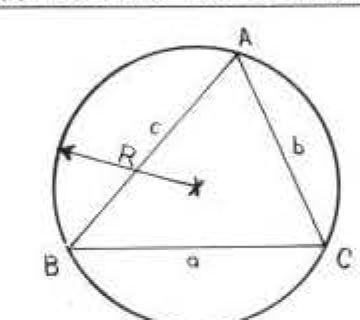
$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = t$$

$$\cos\alpha = \frac{1-t^2}{1+t^2}$$

$$\sin\alpha = \frac{2t}{1+t^2}$$

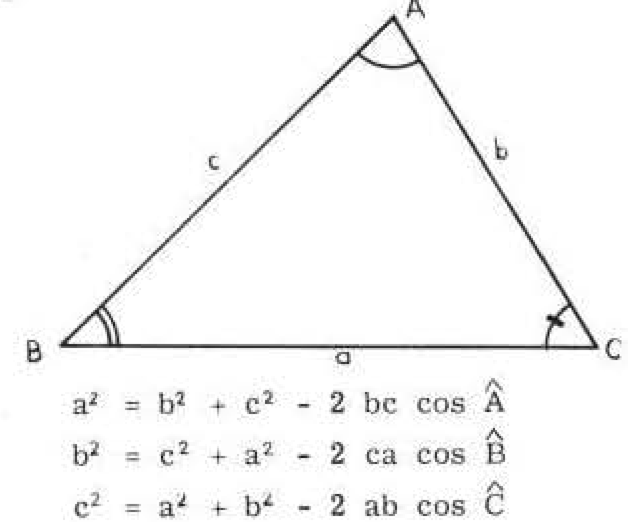
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2t}{1-t^2}$$

Applications aux triangles quelconques



$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = \pi$$

$$\frac{a}{\sin\hat{A}} = \frac{b}{\sin\hat{B}} = \frac{c}{\sin\hat{C}} = 2R$$



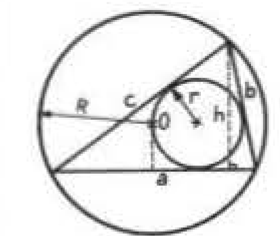
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos\hat{A}$$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca\cos\hat{B}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\hat{C}$$

GÉOMÉTRIE

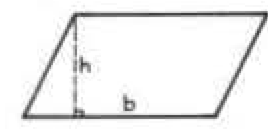
AIRES



Triangle

$$p = \frac{a + b + c}{2}$$

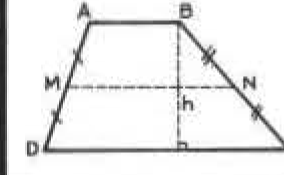
$$S = \frac{ah}{2} = \frac{abc}{4R} = pr$$



Parallélogramme

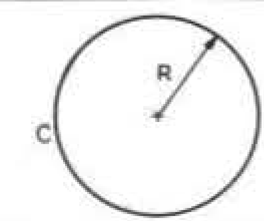
$$S = b\ h$$

Carré : $S = a^2$ Rectangle : $S = ab$



Trapèze

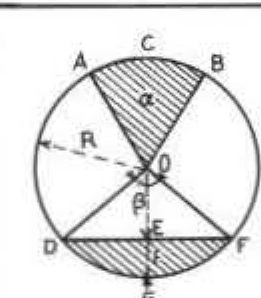
$$S = \frac{AB + CD}{2}\ h = MN \cdot h$$



Cercle

$$C = 2\pi R = \pi D$$

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{C^2}{4\pi}$$



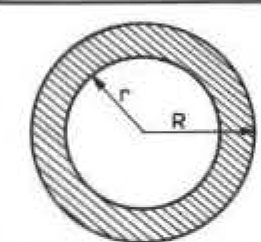
Secteur circulaire

$$S = \frac{\text{arc } ACB \cdot R}{2} = \frac{\pi R^2 \alpha}{360}$$

(α nombre de degrés de l'arc ACB)

Segment circulaire

$$S = \frac{\pi R^2 \beta}{360} - \frac{DF}{2}(R - f)$$

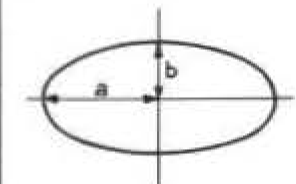


Couronne

$$S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \pi(R^2 - r^2)$$

$$= \frac{\pi}{4}(D + d)(D - d)$$

$$= \pi(R + r)(R - r)$$



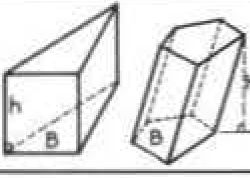
Ellipse

a : 1/2 grand axe

b : 1/2 petit axe

$$S = \pi ab$$

VOLUMES



Prisme droit ou oblique

$$V = B\ h$$

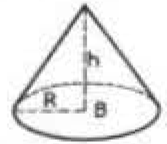


Cylindre droit à base circulaire

$$V = \pi R^2 h = Bh$$

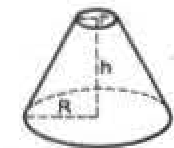
Cylindre creux

$$V = \pi (R^2 - r^2)\ h = \pi (R + r)\ eh$$



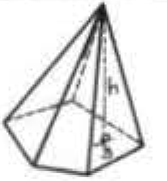
Cône

$$V = \frac{\pi R^2 h}{3}$$



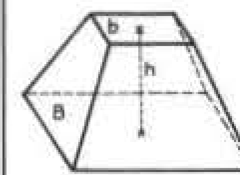
Tronc de cône

$$V = \frac{\pi h}{3}(R^2 + r^2 + Rr)$$



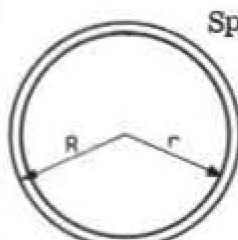
Pyramide

$$V = \frac{1}{3} Bh$$



Tronc de pyramide à bases parallèles

$$V = \frac{1}{3} h (B + b + \sqrt{Bb})$$



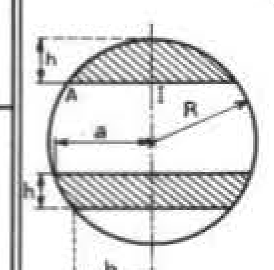
Sphère $S = 4\pi R^2 = \pi D^2$

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = 4,189\ R^3$$

Sphère creuse

$$V = \frac{4}{3}\pi (R^3 - r^3)$$

Segment sphérique à une base



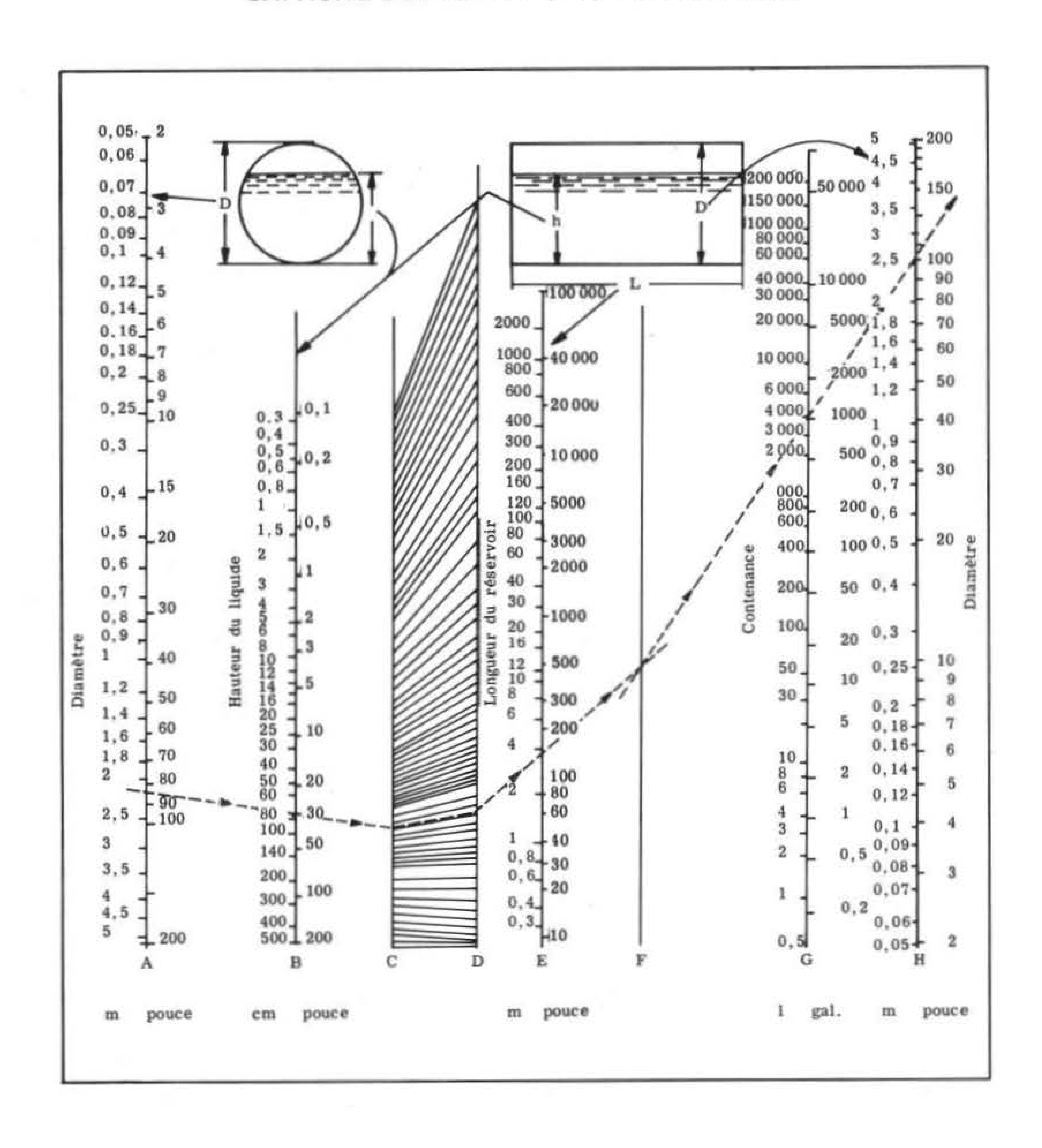
1°) $V = \frac{1}{6}\pi h\ (h^2 + 3\ \overline{AI}^2)$

2°) $V = \frac{1}{3}\pi h^2 (3R - h)$

Segment sphérique à deux bases

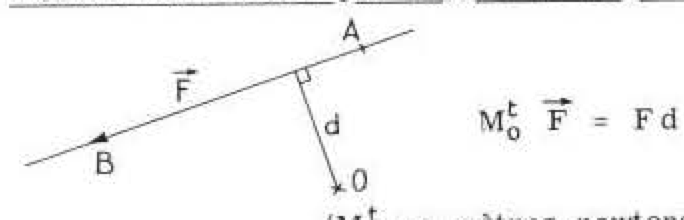
$$V = \frac{1}{6}\pi h\ (3a^2 + 3b^2 + h^2)$$

CAPACITÉ DES RÉSERVOIRS HORIZONTAUX



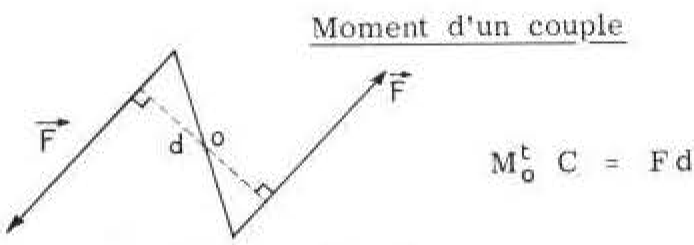
MÉCANIQUE ET RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Moment d'une force par rapport à un point



$M_o^t \vec{F} = F d$

Moment d'un couple



$M_o^t\ C = F d$

(M_o^t en mètres-newtons, F en newtons et d en mètres)

Mouvement rectiligne uniforme

$$\ell = \ell_o + v t$$

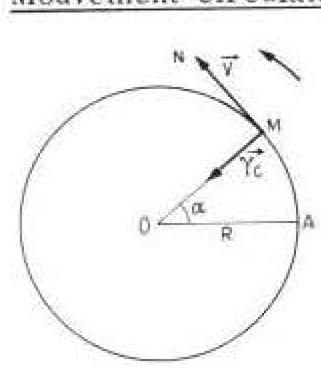
ℓ : distance parcourue en mètres
ℓ_o : distance initiale en mètres
v : vitesse en mètres par seconde
t : temps en secondes

Mouvement uniformément accéléré

$$\ell = \ell_o + v_o t + \frac{\gamma t^2}{2}$$

ℓ : distance parcourue en mètres
ℓ_o : distance initiale en mètres
v_o : vitesse initiale en mètre par seconde
t : temps en secondes
γ : accélération en mètres par seconde par seconde

Mouvement circulaire uniforme



Vitesse angulaire $\omega = \frac{\alpha}{t}$

α : angle de rotation à l'instant t

d'où $\alpha = \omega t$

Vitesse angulaire en fonction des tours par minute

$$\omega = \frac{2 \pi N}{60}$$

(ω en radians par seconde et N en tours par minute)

Vitesse circonférentielle

$$v \ m/mn = 2 \pi RN$$

ou

$$v \ m/s = \omega R = \frac{2 \pi RN}{60}$$

(ω en radians par seconde, R en mètres et N en tours par minute)

Accélération centripète γ_c

$$\gamma_c = \omega^2 R \quad \text{ou} \quad \gamma_c = \frac{V^2}{R}$$

(γ_c en mètres par seconde par seconde, ω en radians par seconde, R en mètres et V en mètres par seconde)

Formule fondamentale de la dynamique

$F = m\gamma$ m : masse γ : accélération

(F en newtons, m en kilogrammes et γ en mètres par seconde par seconde)

Cas particulier de la pesanteur P = mg

g : accélération de la pesanteur
g = 9,81 m/s^2 environ à Paris

MÉCANIQUE ET RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX (suite)

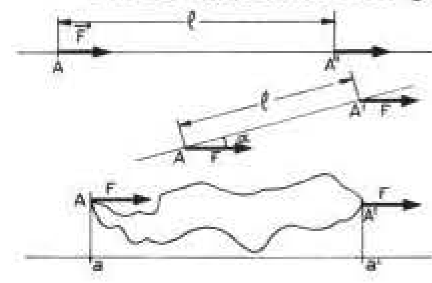
Force centrifuge

$f_c = m\,\omega^2 R$ ou $f_c = m\,\dfrac{v^2}{R}$

(f_c en newtons, m en kilogrammes, ω en radians par seconde, R en mètres et v en mètres par seconde)

Travail d'une force

Force constante en grandeur et direction déplaçant son point d'application



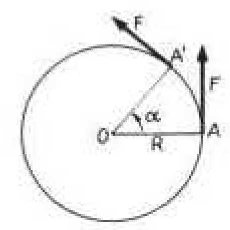
1°) Sur sa droite d'action $T = F\ell$

2°) Sur une oblique à sa droite d'action $T = F\ell \cos$

3°) Sur une courbe de son plan $T = F\,aa'$

(T en joules, F en newtons et ℓ en mètres)

Force constante se déplaçant tangentiellement à un cercle

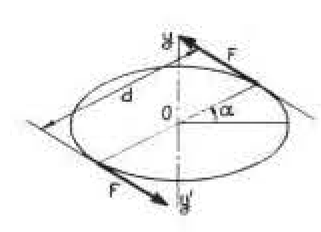


$T = F\,R\,\alpha = M_0^t\,F\,\alpha$

pour un tour $T = 2\pi\,R\,F$

(T en joules, F en newtons, R en mètres, α en radians et M_0^t en mètres-newtons)

Travail d'un couple



Couple tournant autour d'un axe perpendiculaire à son plan

$T = F d\,\alpha = M_0^t\,C\,\alpha$

pour un tour $T = 2\pi\,M_0^t\,C = 2\pi\,F d$

(T en joules, F en newtons, d en mètres, α en radians et M_0^t en mètres-newtons)

Puissance

Travail produit par unité $P = \dfrac{T}{t}$

(P en watts, T en joules et t en secondes)

Puissance d'un couple tournant à une vitesse constante ω

$P = M_0^t\,C\,\omega$ ou $P = F\,d\,\omega = F d\,\dfrac{2\pi N}{60}$

(P en watts, M_0^t en mètres-newtons, ω en radians par seconde, F en newtons, d en mètres et N en tours par minute)

MÉCANIQUE ET RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX
(suite)

Énergie cinétique

$$W = \frac{1}{2} m v^2$$

(W en joules, m en kilogrammes et v en mètres par seconde)

Résistance des matériaux

Traction et compression

Contrainte : $n = \frac{N}{S} 10^{-7}$

- n : contrainte en hectobars
- N : effort de traction ou compression en newtons
- S : section en mètres carrés

Loi de Hooke $n = E \frac{\Delta \ell}{\ell}$

- E : module de Young ou coefficient d'élasticité longitudinale : 20 000 à 22 000 hectobars environ pour l'acier
- $\Delta \ell$: allongement } exprimés dans la
- ℓ : longueur } même unité

Torsion

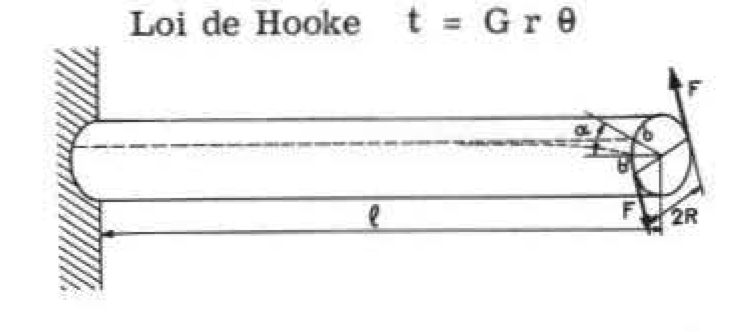
Moment de torsion : $M_t = 2 \, F R$

(M_t en mètres-newtons, F en newtons et R en mètres)

Torsion unitaire $\theta = \frac{\alpha}{\ell}$

- θ : torsion unitaire en radians par mètre
- α : angle de rotation en radians
- ℓ : longueur en mètres

Loi de Hooke $t = G r \theta$



- t : contrainte de torsion ou de cisaillement tangentielle en hectobars
- G : coefficient d'élasticité transversale : $G = 0,4 \, E$ = 8 000 hectobars environ pour l'acier
- r : rayon du cylindre en mètres.

ÉLECTRICITÉ
courant continu

INTENSITÉ DE COURANT ÉLECTRIQUE : I

Unité : l'Ampère (A)

Intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre, dans le vide, produit, entre ces conducteurs, une force de 2.10^{-7} newton par mètre de longueur.

QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ : Q

Unité : le Coulomb (C)

Quantité d'électricité transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.

Unité pratique : l'Ampère-heure (A h)

Quantité d'électricité transportée en 1 heure par un courant de 1 ampère (1 Ah = 3 600 C)

$$\underset{(A\,h)}{Q} = \underset{(A)}{I} \; \underset{(h)}{t}$$

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL (Tension) : U

Unité : le Volt (V)

Différence de potentiel qui existe entre deux points d'un fil conducteur parcouru par un courant constant de 1 ampère lorsque la puissance dissipée entre ces points est égale à 1 watt.

RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE : R

Unité : l'Ohm (Ω)

Résistance électrique qui existe entre deux points d'un fil conducteur lorsqu'une différence de potentiel de 1 volt, appliquée entre ces deux points, produit dans ce conducteur un courant de 1 ampère, ledit conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice.

Résistivité : ρ (Ω/m/mm²) à 15 °C

Résistance d'un fil de 1 mètre de longueur et 1 millimètre carré de section

- cuivre	ρ = 0,017 - 0,0175	Ω/m/mm²	- fer	ρ = 0,11	Ω/m/mm²
- argent	ρ = 0,016 - 0,018	Ω/m/mm²	- acier	ρ = 0,10 - 0,25	Ω/m/mm²
- aluminium	ρ = 0,029	Ω/m/mm²	- maillechort (Cu 60%, Zn 20%, Ni 20%)	ρ = 0,36 - 0,39	Ω/m/mm²

$$\underset{(\Omega)}{R} = \underset{(\Omega/m/mm^2)}{\rho} \; \frac{l \; (m)}{s \; (mm^2)}$$

AUGMENTATION DE LA RÉSISTANCE ET DE LA RÉSISTIVITÉ AVEC LA TEMPÉRATURE

$$\underset{(\Omega)}{R_t} = \underset{(\Omega)}{R_o} \; (1 + \underset{(°C)}{\alpha t}) \qquad \underset{(\Omega/m/mm^2)}{\rho_t} = \underset{(\Omega/m/mm^2)}{\rho_o} \; (1 + \underset{(°C)}{\alpha t})$$

R_t , ρ_t : résistance, résistivité à t degrés Celsius
R_o , ρ_o : résistance, résistivité à O degré Celsius
α : coefficient de température à 15 °C

- cuivre	$\alpha = 3,93.10^{-3}$	- fer	: $4,7.10^{-3}$
- argent	$\alpha = 3,6 .10^{-3}$	- acier	: 5.10^{-3}
- aluminium	$\alpha = 3,9 .10^{-3}$	- maillechort (Cu 60%, Zn 20%, Ni 20%)	: 3.10^{-4}

ÉLECTRICITÉ
courant continu
(suite)

COUPLAGE DES RÉSISTANCES

1) couplage en série

$R = R_1 + R_2 + R_3 \ldots$

$U = U_1 + U_2 + U_3 \ldots$ I constant

2) couplage en parallèle

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots$

$I = I_1 + I_2 + I_3 \ldots$ U constant

pour deux résistances en parallèle :

$R = \frac{R_1 \quad R_2}{R_1 + R_2}$ $I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ $I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

LOI D' OHM

$U = R \; I$ (V) (Ω) (A) $I = \frac{U}{R}\,\frac{(V)}{(\Omega)}$ (A) $R = \frac{U}{I}\,\frac{(V)}{(A)}$ (Ω)

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE (W) OU QUANTITÉ DE CHALEUR : Q

Unité : le Joule (J)

Énergie électrique produite chaque seconde par un courant de 1 ampère circulant dans une résistance de 1 ohm

$W = R \; I^2 \; t$ (J) (Ω) (A) (s) $W = U \; I \; t$ (J) (V) (A) (s)

Unités hors système :

1) le Watt-heure (Wh)

Énergie fournie en 1 heure par une puissance de 1 watt

$W = R \; I^2 \; t$ (Wh) (Ω) (A) (h) 1 Wh = 3 600 J

2) la Calorie (cal)

$Q = 0,24 \; R \; I^2 \; t$ (cal) (Ω) (A) (s)

1 cal = 4,1855 J 1 J = 0,2389 cal

La valeur 4,1855 est une valeur expérimentale résultant des déterminations les plus récentes.

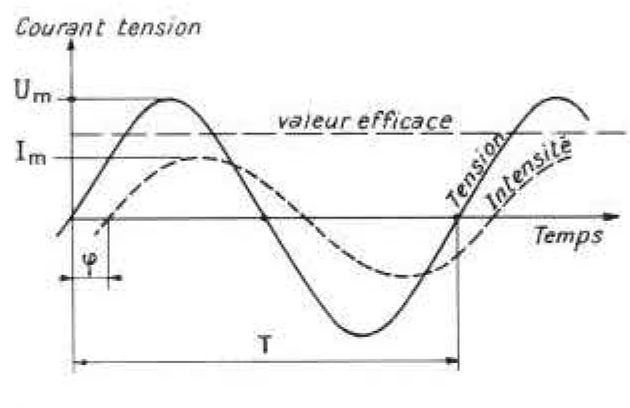
PUISSANCE ÉLECTRIQUE : P

Unité : le Watt (W)

Puissance de un joule par seconde

$P = R \; I^2$ (W) (Ω) (A) $P = U \; I$ (W) (V) (A) $P = \frac{U^2}{R}\,\frac{(V)}{(\Omega)}$ (W)

ÉLECTRICITÉ
courant alternatif



période $T = \frac{1}{F}$

fréquence $F = \frac{1}{T}$ (Hz)

pulsation $\omega = 2\pi F$ (rd/s)

Valeurs instantanées :

$u = U_m \cos \omega t$

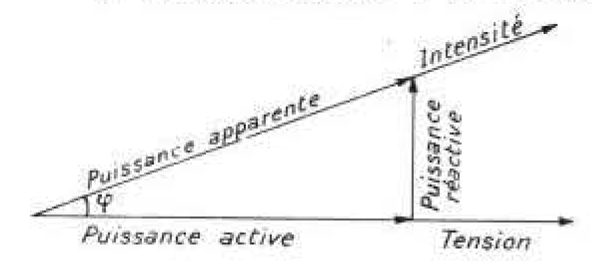
$i = I_m \cos (\omega t - \varphi)$

φ = angle de déphasage de l'intensité sur la tension

Valeurs efficaces : $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

Puissance :

1) Puissance apparente : $S = UI$ en voltampères (VA)
2) Puissance active : $P = UI \cos \varphi$ en watts (W)
3) Puissance réactive : $Q = UI \sin \varphi$ en voltampères réactifs (VAR)



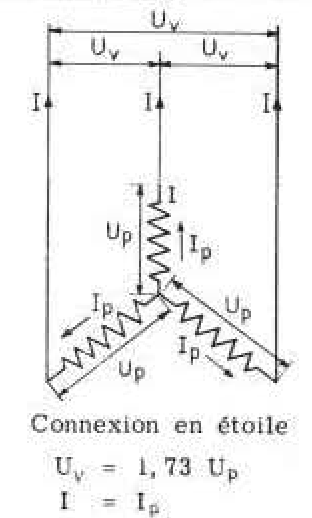
$S^2 = P^2 + Q^2$

$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$

$\cos \varphi = \frac{P}{S}$ (Facteur de puissance)

courant triphasé

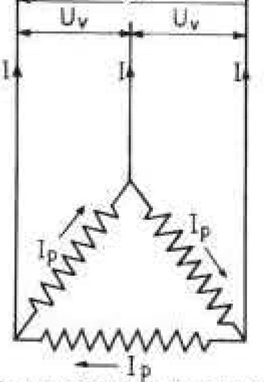
Entreconnexions des phases (formules valables pour le cas d'une charge symétrique pour les 3 phases)



Connexion en étoile

$U_v = 1,73\ U_p$

$I = I_p$



Connexion en triangle

$U_v = U_p$

$I = 1,73\ I_p$

1) Puissance apparente $S = U\ I$ (VA)

2) Puissance active $P = 1,73\ U_v\ I \cos \varphi$ (W)
$= 3\ U_p\ I \cos \varphi$ (W)

3) Puissance réactive $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$
$= 1,73\ U_v\ I \sin \varphi$ (VAR)
$= 3\ U_p\ I_p \sin \varphi$ (VAR)

avec
U_v : Tension en volt entre deux conducteurs du système triphasé
U_p : Tension de phase
I : Intensité en ampères de chaque conducteur de la ligne triphasée
I_p : Intensité par phase
φ : Décalage de phase entre le courant et la tension.

ÉLECTRICITÉ
courant alternatif - courant triphasé (suite)

Capacité

L'unité de capacité est le farad (F). Un condensateur possède la capacité de 1 farad, si la quantité d'électricité de 1 coulomb le porte à la tension de 1 volt.

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}} \qquad C = \frac{Q}{U}$$

Couplage des condensateurs

Condensateurs en parallèle :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Condensateurs en série :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad \text{pour 2 condensateurs : } C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

INTENSITÉ ADMISSIBLE DANS LES LIGNES ÉLECTRIQUES

	SECTION nominale	INTENSITÉS				
		ÉCHAUFFEMENT = 45° C			ÉCHAUFFEMENT ≠ 45° C	
Nombre de CONDUCTEURS		2	3	4		
	(mm²)	A	A	A	multiplier les intensités ci-contre par les coefficients suivants :	
					échauffement	coefficient
	2	20	17	15		
	3	27	22,5	21	20°	0,67
	5	35	31	28	25°	0,75
	10	53	47	44	30°	0,82
	16	66	60	55	35°	0,88
	25	88	81	70	40°	0,94
	40	110	103	88	45°	1
	50	130	123	105	50°	1,05
	75	167	154	132	55°	1,10
	95	192	184	155	60°	1,15

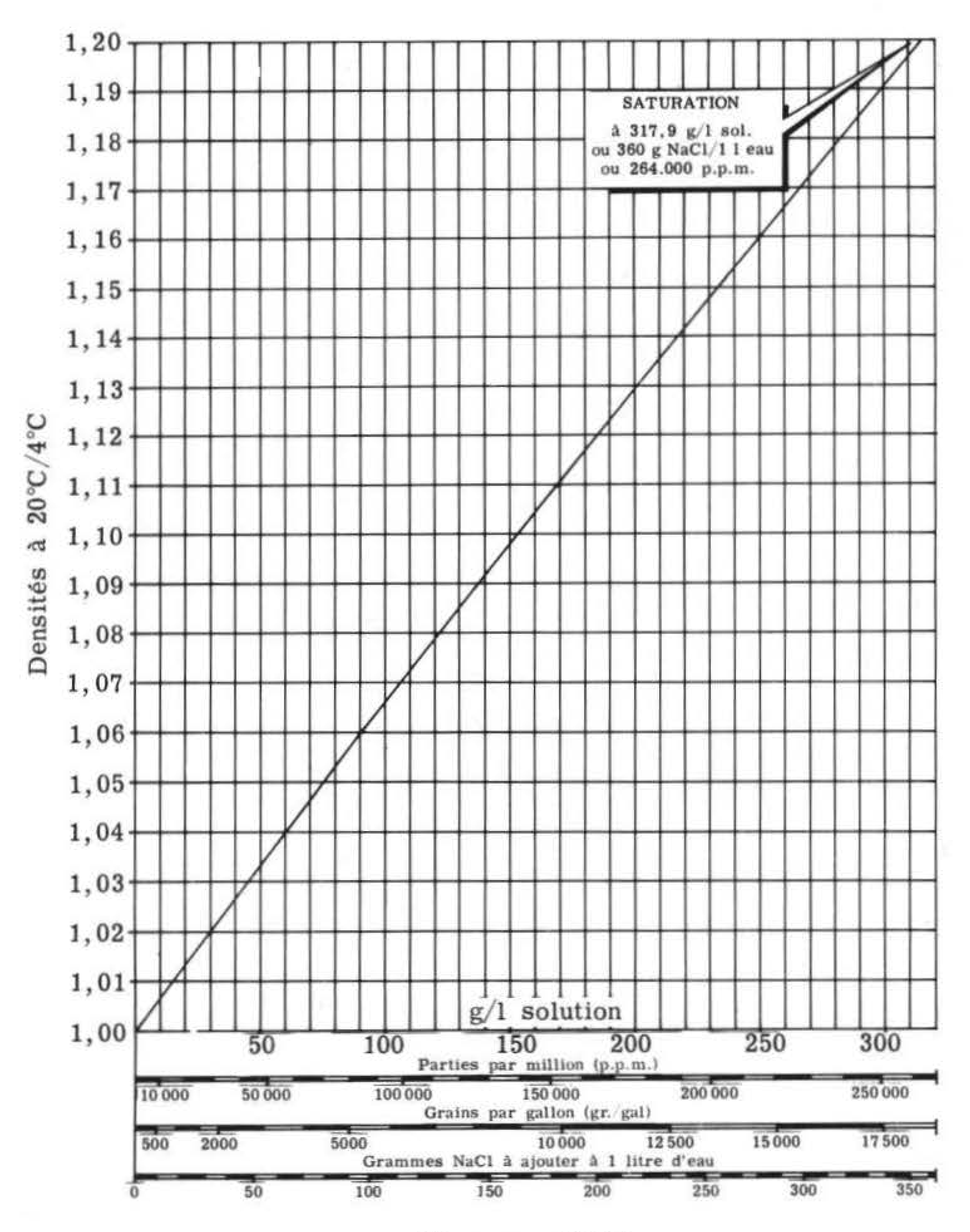
PRINCIPAUX SYMBOLES CHIMIQUES, NUMÉROS ET MASSES ATOMIQUES

Corps simple	Symbole	Numéro atomique	Masse atomique	Corps simple	Symbole	Numéro atomique	Masse atomique
Aluminium	Al	13	27	Manganèse	Mn	25	55
Antimoine	Sb	51	122	Mercure	Hg	80	200, 6
Argent	Ag	47	108	Molybdène	Mo	42	96
Argon	A	18	40	Néon	Ne	10	20
Arsenic	As	33	75	Nickel	Ni	28	58, 7
Azote	N	7	14	Or	Au	79	197
Baryum	Ba	56	137	Oxygène	O	8	16
Bismuth	Bi	83	209	Phosphore	P	15	31
Bore	B	5	11	Platine	Pt	78	195
Brome	Br	35	80	Plomb	Pb	82	207
Cadmium	Cd	48	112	Plutonium	Pu	94	242
Calcium	Ca	20	40	Potassium	K	19	39
Carbone	C	6	12	Radium	Ra	88	226
Chlore	Cl	17	35, 5	Sélénium	Se	34	79
Chrome	Cr	24	52	Silicium	Si	14	28
Cobalt	Co	27	59	Sodium	Na	11	23
Cuivre	Cu	29	63, 5	Soufre	S	16	32
Étain	Sn	50	119	Strontium	Sr	38	87, 6
Fer	Fe	26	56	Titane	Ti	22	48
Fluor	F	9	19	Tungstène	W	74	184
Hélium	He	2	4	Uranium	U	92	238
Hydrogène	H	1	1	Vanadium	V	23	51
Iode	I	53	127	Xénon	Xe	54	131, 3
Lithium	Li	3	7	Zinc	Zn	30	65, 4
Magnésium	Mg	12	24	Zirconium	Zr	40	91

DENSITÉ DES MÉTAUX, MATÉRIAUX ET FLUIDES DIVERS

Désignation	Densité	Désignation	Densité	Désignation	Densité
MÉTAUX		ROCHES		LIQUIDES	
Aluminium	2,7	Calcaire dur	2,4 à 2,7	Acétone	0,792
Antimoine	6,7	Calcaire mi-dur	1,9 à 2,3	Alcool éthylique	0,791
Argent	10,5	Calcaire tendre	1,5 à 1,8	Alcool méthylique	0,810
Bismuth	9,75	Granit	2,4 à 3	Benzène	0,899
Cadmium	8,65	Grès	1,9 à 2,6	Chloroforme	1,489
Chrome	7,19	Gypse	1,2	Eau (à 4° C)	1
Cobalt	8,9	Marbre	2,5 à 2,9	Éther	0,736
Cuivre	8,94	Meulière	1,0 à 1,8	Glycérine	1,260
Étain	7,3	Quartzite	2,2 à 2,8	Tétrachlorure	1,595
Fer	7,88	Sable sec	2,6	Trichlore éthylène	1,4556 à 25°C
Magnésium	1,74	Sel gemme	2,16		
Manganèse	7,2			GAZ (densité par rapport à l'air) à 10° C et 760 mm de Hg	
Mercure	13,55	MATÉRIAUX		Air	1
Molybdène	10,2	Argile compacte et humide	2,1	Anhydride carbonique	1,529
Nickel	8,9	Barytine	4,5	Butane iso	2,067
Or	19,32	Béton	2,25	Butane n (710 mm Hg)	2,0854
Platine	21,45	Brique compacte	2,2	Éthane	1,0493
Plomb	11,34	Ciment Portland (en poudre)	3 à 3,3	Éthylène	0,9749
Titane	4,5	Ciment Portland (lait de ciment)	1,8 à 2	Hydrogène	0,06952
Tungstène	19,3	Coquilles de noix	1,3	Hydrogène sulfuré	1,190
Vanadium	5,96	Verre	2,53	Méthane	0,5544
Zinc	7,14			Oxyde de carbone	0,9671
				Oxygène	1,10527
BOIS				Propane	1,554
Chêne	0,61 à 1,17				
Hêtre	0,70 à 0,80				
Liège	0,24				
Sapin	0,45 à 0,60				

RELATION DENSITÉ DES SOLUTIONS - TENEUR EN NaCl



ÉCHELLE STRATIGRAPHIQUE

Éres	Systèmes	Étages
Quaternaire (Anthropozoïque)	Holocène (Néolithique) Pléistocène (Paléolithique)	Flandrien Tyrrhénien Sicilien
Tertiaire (Cénozoïque)	Pliocène	Calabrien (Villafranchien) Astien Plaisancien
	Miocène	Sahélien (Pontien) Vindobonien Burdigalien
	Oligocène	Aquitanien Chattien Stampien Sannoisien
	Eocène	Ludien Bartonien Lutétien Yprésien Sparnacien Thanétien Montien

Éres	Systèmes	Étages
Secondaire (Mesozoïque)	Crétacé supérieur (Néocrétacé)	Danien Sénonien Turonien Cénomanien
	Crétacé inférieur (Eocrétacé)	Albien Aptien Barrémien (Urgonien) Hauterivien Valanginien
	Jurassique supérieur (Malm)	(Purbeckien) Portlandien (Tithonique) Kimméridgien Séquanien Rauracien Argovien Oxfordien Callovien
	Jurassique moyen (Dogger)	Bathonien Bajocien
	Jurassique inférieur (Lias)	Aalénien Toarcien Charmouthien Sinémurien Hettangien Rhétien
	Trias	Keuper Muschelkalk Grès bigarré

Éres	Systèmes	Étages
Primaire (Paléozoïque)	Permien	Zechstein ou Thuringien Saxonien Autunien
	Carbonifère	Houiller (Stephanien) (Westphalien) Dinantien (Culm)
	Dévonien	Famennien Frasnien Givétien Eifélien Coblencien Gédinnien Downtonien
	Silurien	Gothlandien Ordovicien
	Cambrien	Potsdamien Acadien Géorgien
	Précambrien (Algonkien)	
	Archéen	

CHAPITRE II

chapitre II

GISEMENTS

SOMMAIRE

0. RAPPEL DES PRINCIPAUX SYMBOLES ET DÉFINITIONS DES UNITÉS PRATIQUES UTILISÉES

Les formules encadrées sont établies en unités cohérentes (c'est le système C.G.S. qui est le plus utilisé).

Les formules non encadrées suivies de la mention "up" sont exprimées en unités pratiques.

Les symboles ayant plusieurs significations sont redéfinis dans le texte pour éviter toute confusion.

Symboles	Définitions	Unités pratiques	Rapport unités pratiques/unités C.G.S.
A	Section d'écoulement	m^2	$1\ m^2 = 10^4\ cm^2$
a	Distance entre puits	m	$1\ m = 10^2\ cm$
a	Coefficient de réduction du temps dans la loi transitoire à pression de soutirage constante	1/j	1/j = 1/86 400 s
B	Facteur volumique. Rapport volume condition fond/volume condition standard	rapport	-
C	Conductibilité en milieu poreux $C = \frac{kh}{\mu}$	md x m/cPo	$\frac{1\ md \times m}{cPo} = 0{,}98.10^{-7}\ \frac{perm \times cm}{poise}$
C	Coefficient de débit dans la loi transitoire à pression de soutirage constante	$m^3/j \times bar$	$\frac{1\ m^3}{j \times bar} = 1{,}16.10^{-5}\ \frac{cm^3}{s \times barye}$
C	Coefficient de la courbe indicatrice des essais de puits à gaz	$m^3/j \times bar^2$	$\frac{1\ m^3}{j\,(bar)^2} = 1{,}16.10^{-11}\ \frac{cm^3}{s \times barye^2}$
c	Compressibilité isotherme $C = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dp}$	$\frac{V/V}{bar}$	$\frac{1\ V/V}{bar} = 10^{-6}\ \frac{V/V}{barye}$
d.	densité	rapport	-
E	Epaisseur des fissures	mm	$1\ mm = 10^{-1}\ cm$
E_v	Efficacité de balayage : huile récupérée/ huile mobile en place	rapport	-
F	Facteur de formation de la roche	rapport	-
f	Fraction volumétrique d'une phase dans un écoulement	fraction	-
G	Volume du gaz en place cond. standard	m^3 std	$1\ m^3 = 10^6\ cm^3$

Symboles	Définitions	Unités pratiques	Rapport unités pratiques/unités C.G.S.
g	Accélération de la pesanteur	9,81 m/s^2	981 cm/s^2
h	Hauteur de la zone productrice	m	1 m = 10^2 cm
IP	Index de productivité d'un puits	$m^3/j/bar$	$\frac{1\ m^3}{j \times bar} = 1{,}16.10^{-5}\ \frac{cm^3}{s \times barye}$
K	Constante d'équilibre des fluides		
k	Perméabilité	md	1 md = $0{,}987.10^{-11}$ perm.
k_{ri}	Perméabilité relative au fluide i	rapport	-
l	Longueur	m	1 m = 10^2 cm
L	Fraction de moles liquides dans un complexe	fraction ou %	-
L_e	Logarithme de base e (népérien)		
log	Logarithme de base 10 (vulgaire)		
M	Rapport de mobilité : mobilité de la phase déplaçante sur mobilité de la phase déplacée	rapport	-
M	Masse moléculaire	g	
m	Facteur de cimentation	-	-
m_e m_{10}	Pente d'une droite de pression en représentation semi-logarithmique (L_e et log)	$\frac{bar}{cycle\ log}$	$\frac{1\ bar}{cycle\ log} = 4{,}35.10^5\ \frac{barye}{cycle\ L_e}$
N	Volume d'huile en place exprimé en conditions standard	m^3	1 m^3 = 10^6 cm^3
Np	Production cumulée d'huile en condition stockage	m^3	1 m^3 = 10^6 cm^3
n	Pente de la courbe indicatrice d'un essai à gaz (en log x log)	-	-
P	Pression	bar	1 bar = 10^6 baryes
Q	Débit conditions standard	m^3/j	1 m^3/j = 11,57 cm^3/s
Q_c	Débit critique	m^3/j	1 m^3/j = 11,57 cm^3/s
R	Résistivité	ohm-mètre	-
R	GOR de production : volume gaz standard sur volume huile stockage	rapport	-
R	Récupération en huile	m^3	1 m^3 = 10^6 cm^3

Symboles	Définitions	Unités pratiques	Rapport unités pratiques/unités C.G.S.
R	Constante universelle des gaz (pour une molécule-gramme)	$8{,}315.10^{-5}$ ($m^3/°K$)	$8{,}315.10^{7}$ C.G.S
R	Rayon de la limite extérieure en milieu radial circulaire	m	$1\ m = 10^2\ cm$
R_c	Rapport de colmatage	rapport	-
R_s	GOR de solution	rapport	-
r	Rayon de la surface de soutirage (en général rayon du puits)	m	$1\ m = 10^2\ cm$
S	Surface spécifique par volume des pores utilisées en laboratoire	$\frac{1}{m}$	$\frac{1}{1\ m} = 10^{-2}\ \frac{1}{cm}$
S	Saturation	fraction	-
S	Coefficient d'effet de skin	-	-
T	Temps d'ouverture d'un puits	H	1 H = 3600 s
T	Tension interfaciale d'un couple de fluides	N/m	$1\ N/m = 10^3\ dyn/cm$
T	Température	°C	-
T_k	Température absolue	°C + 273	-
t	Tortuosité	fraction	-
t	Temps	j (ou heure si précisé)	1 j = 86 400 s
u	Paramètre de forme caractérisant le milieu poreux	m	$1\ m = 10^2\ cm$
V	Vitesse d'injection (ou de filtration)	m/j	$1\ m/j = 1{,}16.10^{-3}\ cm/s$
V	Fraction de moles gazeuses	fraction	-
V	Volume	m^3	$1\ m^3 = 10^6\ cm^3$
V_e	Vitesse critique	m/j	$1\ m/j = 1{,}16.10^{-3}\ cm/s$
W_e	Entrée d'eau dans la zone à huile	m^3	$1\ m^3 = 10^6\ cm^3$
W_p	Production cumulée d'eau cond. surface	m^3	$1\ m^3 = 10^6\ cm^3$
X_i	Fraction moléculaire des constituants dans la phase vapeur	fraction ou %	-
Y_i	Fraction moléculaire des constituants dans la phase liquide	fraction ou %	-

Symboles	Définitions	Unités pratiques	Rapport unités pratiques/unités C.G.S
Z	Facteur de compressibilité d'un gaz	-	-
Z_i	Fraction moléculaire des constituants dans l'ensemble du complexe	fraction ou %	-
α	Pendage des couches	degré	
Δp	Chute de pression	bar	1 bar = 10^6 baryes
Δt	Intervalle de temps	jour	1 j = 86 400 s
η	Diffusité $\frac{K}{\phi \mu C}$	-	
θ	Angle d'ouverture du système radial circulaire	radian	
θ	Angle de contact fluide mouillant - solide	radian	
θ	Durée de la remontée de pression (après fermeture)	heure	1 h = 3600 s
μ	Viscosité	cPo	1 cPo = 10^{-2} Po
ρ	Masse volumiqu	g/cm^3	
Φ	Porosité	fraction	-
Indices			
g	Valeur relative à la phase gaz		
I	Valeur relative à l'injection		
i	Valeur relative au moment initial		
j, n, t	Valeur relative aux steps j, n, t		
o	Valeur relative à la phase huile		
p	Valeur relative à la production		
w	Valeur relative à la phase eau		

1. STATIQUE DES GISEMENTS

1.1. Caractéristiques pétrophysiques des roches magasins

1.1.1. POROSITE

$$\Phi_u = \frac{\text{Volume des vides reliés entre eux}}{\text{Volume total roche + vides}} \quad (1.1.1.a)$$

Φ_u : porosité utile (seule utilisée dans les calculs de dynamique) ;

$$\Phi_t = \frac{\text{Volume de tous les vides}}{\text{Volume total roche + vides}} \quad (1.1.1.b)$$

Φ_t : porosité totale.

1.1.2. PERMEABILITE

1.1.2.1. Définitions

Perméabilité absolue ou spécifique : k_a

k_a est un coefficient de perte de charge mesuré avec un seul fluide en place. C'est une caractéristique intrinsèque du milieu poreux.

Perméabilité effective : k_e

k_e : perméabilité mesurée avec un fluide alors qu'un ou plusieurs autres fluides co-existent dans la roche.

Perméabilité relative : k_{ri}

$$k_{ri} = \frac{\text{perméabilité effective au fluide i}}{\text{perméabilité absolue}}$$

k_{ri} n'est théoriquement fonction que de la saturation S_i. En fait, la perméabilité relative est influencée par le rapport des viscosités et l'angularité des déplacements (exemple : cas du contre courant).

1.1.2.2. Mesure de la perméabilité absolue

$$Q = k_a \frac{A}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx} \quad (1.1.2.2.a)$$

k_a est mesuré par application de la loi de Darcy (1.1.2.2.a) qui n'est valable que si le fluide de mesure est animé d'une faible vitesse.

1.1.3. RESISTIVITE - FACTEUR DE FORMATION

$$F = \frac{R_0}{R_w} \quad (1.1.3)$$

R_0 : Résistivité de la roche saturée à 100 % en saumure;

R_w : Résistivité de la saumure.

1.2. Propriétés capillaires

1.2.1. DEFINITIONS

1.2.1.1. Pression capillaire dans un tube cylindrique



$$P_c = \frac{2\,T}{R} = \frac{2\,T.\cos\theta}{r} \quad (1.2.1.1)$$

T : Tension interfaciale pour le couple de fluides considéré;

θ : Angle de contact fluide mouillant/solide ($\theta < \frac{\pi}{2}$).

1.2.1.2. Pression capillaire dans une fissure

$$P_c = \frac{2\,T.\cos\theta}{e} \quad (1.2.1.2)$$

e : épaisseur de la fissure.

1.2.1.3. Valeurs de la tension interfaciale pour couples de fluides usuels

D'une façon générale, la tension interfaciale T décroft quand la température et la pression augmentent. Les valeurs de T en conditions ambiantes ont été mesurées avec précision. Par contre les valeurs "in situ" dans les conditions gisements sont très mal connues et sont données seulement à titre indicatif.

Air/Mercure, cond. ambiantes : T = 480 dyn/cm ;

Eau/Air, cond. ambiantes : T = 72 dyn/cm ;

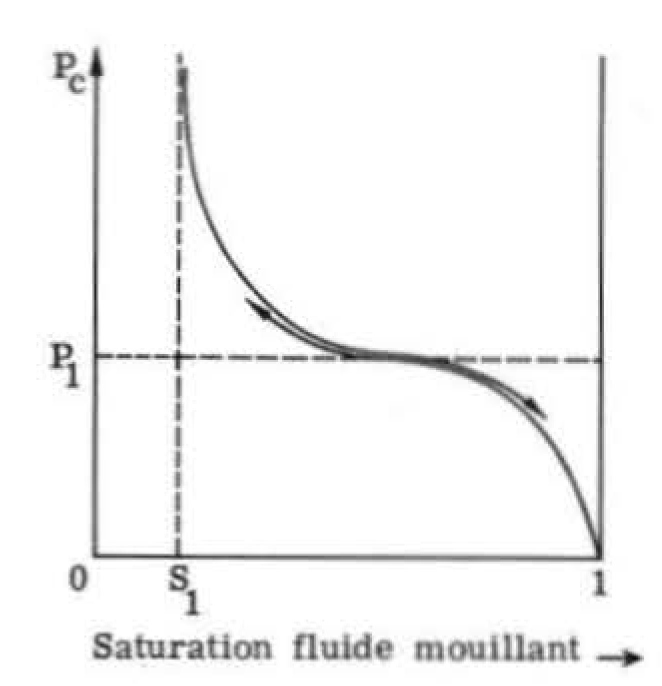
Eau/Gaz, cond. gisements : T peut varier d'environ 35 dyn/cm pour 100°C et 200 bars à 55 dyn/cm pour 60°C et 70 bars;

Eau/huile, cond. gisements : T peut varier d'environ 15 dyn/cm pour des huiles contenant peu de gaz, à 35 dyn/cm pour des huiles à GOR élevés, ceci pour des températures de gisement moyennes;

Huile/Gaz, cond. gisements : L'huile joue généralement le rôle de fluide mouillant. T peut varier d'environ 8 dyn/cm pour 70 bars à 1 dyn/cm pour 200 bars, ceci pour des températures de gisement moyennes.

Dans tous les cas, la valeur de T est très sensible à l'action des substances chimiques dissoutes.

1.2.2. INTERPRETATION DES MESURES CAPILLAIRES DE LABORATOIRE



Mesures classiques :

Air/Mercure ("Purcell")

Eau/Air ("Etats restaurés")

P_1 : Pression capillaire correspondant au diamètre de pore le plus représenté qui peut être calculé par l'équation (1.2.1.1.) si T et θ sont connus;

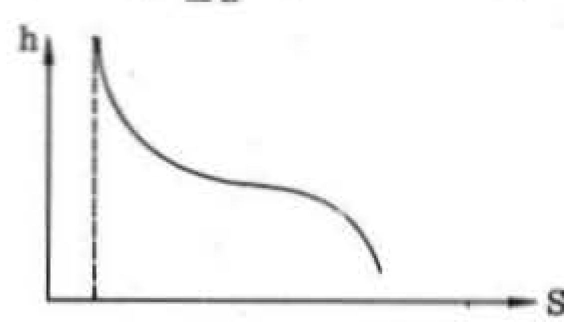
S_1 : Saturation résiduelle en fluide mouillant.

$$\frac{P_c \text{ labo}}{P_c \text{ gis}^t} = \frac{T \text{ couple labo } \cos\theta \text{ labo}}{T \text{ couple gis}^t \cos\theta \text{ gis}^t} \qquad (1.2.2.a)$$

Pour transformer $P_c = f(S)$ (cond. labo) en $P_c = f(S)$ (cond. fond), on utilise la relation (1.2.2.a)

$$h = \frac{P_c}{\Delta P . g} \qquad (1.2.2.b)$$

$$h = 10,2 \frac{P_c}{\Delta d} \qquad (1.2.2.b \text{ . up})$$

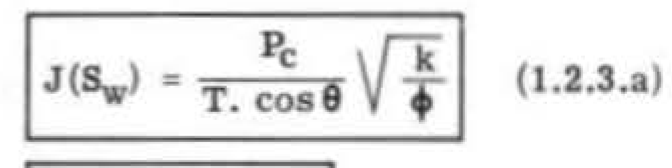


Quand le rapport $\frac{\cos\theta \text{ labo}}{\cos\theta \text{ gisement}}$ est est inconnu, on le suppose égal à 1, ce qui revient à négliger le phénomène de mouillabilité.

Pour transformer $P_c = f(S)$ (cond. fond) en $S = f(h)$, saturation en fonction de la hauteur au-dessus du plan de pression capillaire nulle, on applique la relation (1.2.2.b).

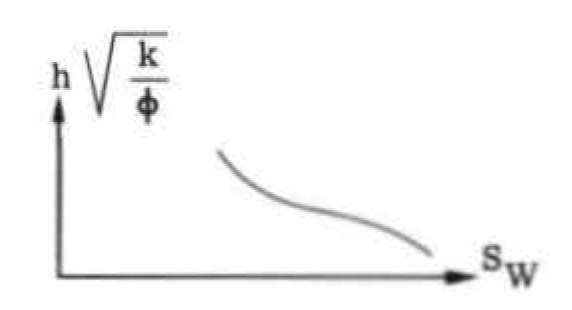
Δd : Différence de densité entre les phases en présence, conditions gisement.

1.2.3. FONCTION "J" DE LA PRESSION CAPILLAIRE



$$J(S_w) = \frac{P_c}{T . \cos\theta} \sqrt{\frac{k}{\phi}} \qquad (1.2.3.a)$$

$$S_w = f\left(h \sqrt{\frac{k}{\phi}}\right) \qquad (1.2.3.b)$$



Pour des échantillons d'un même sédiment présentant des courbes de pressions capillaires très dispersées, cette fonction permet théoriquement d'obtenir un bon groupement des résultats.

La fonction (1.2.3.a) peut être écrite sous la forme (1.2.3.b) dans laquelle h est la hauteur au-dessus du plan de pression capillaire nulle.

Nota - 1) S_w représente ici la saturation en fluide mouillant.

2) $P_c/T. \cos\theta$ peut être pris pour n'importe quel couple de fluides.

1.3. Corrélations entre principales caractéristiques du milieu poreux

1.3.1. POROSITE - FACTEUR DE FORMATION

$$F = \frac{C}{\phi^m} \quad (1.3.1)$$

Relation appelée Loi d'Archie

C : constante voisine de 1 pour toutes les roches ;

m : facteur de cimentation variant de 1,3 à 2,2.

1.4. Principales formules d'interprétation des diagraphies

1.4.1. SATURATION EN EAU

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{R_o}{R_t}} = \sqrt[n]{\frac{F.R_w}{R_t}} \quad (1.4.1)$$

R_o : Résistivité de la formation entièrement saturée d'eau = $F.R_w$;

R_t : Résistivité réelle de la formation ;

n : varie de 1,7 à 2,2

1.4.2. CALCUL DE LA RESISTIVITE D'UNE EAU A PARTIR DE LA P.S.

$$E_c = -K.\log\frac{a_w}{a_{mf}} \quad (1.4.2.a)$$

$$SSP = -K.\log\frac{a_w}{a_{mf}} \quad (1.4.2.b)$$

E_c : Composante électrique de la P.S. ;

a_w et a_{mf} : activité des cations Na^+ dans l'eau interstitielle et dans le filtrat de la boue ;

K : Coefficient numérique proportionnel à la température absolue.

Si les eaux sont composées de NaCl seul, on peut écrire : lecture P.S. statique SSP = E_c. Les résistivités sont inversement proportionnelles aux activités.

1.4.3. POROSITE SONIQUE

$$\Phi_S = \frac{\Delta t \text{ log} - \Delta t \text{ matrice}}{\Delta t \text{ liquide} - \Delta t \text{ matrice}} \quad (1.4.3)$$

Δt : temps de parcours.

1.4.4. POROSITE GAMMA-GAMMA

$$\Phi_{GG} = \frac{d \text{ grain} - d_{GG}}{d \text{ grain} - d \text{ liquide}} \quad (1.4.4)$$

d : densité.

1.5. Calcul des hydrocarbures en place par cubature

1.5.1. A PARTIR DU VOLUME DE ROCHE

$$V_{HC} = V_R \frac{h_u}{h_t} \Phi (1 - S_w) \frac{1}{B} \quad (1.5.1)$$

V_{HC} : Volume en place conditions surface;

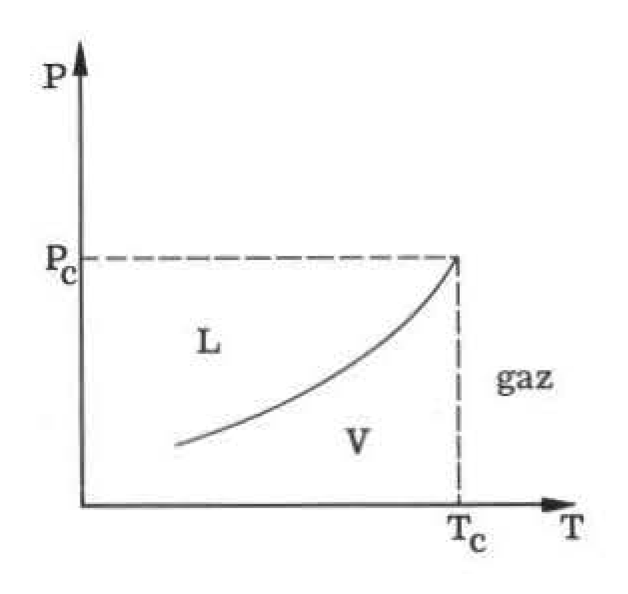
V_R : Volume global de roche obtenu en planimétrant isobathes ou isopaques.

$\frac{h_u}{h_t} = \frac{\text{hauteur utile roche magasin}}{\text{hauteur totale y compris argiles}}$

$\frac{h_u}{h_t}$, Φ et S_w sont des valeurs moyennes.

2. PROPRIÉTÉS THERMODYNAMIQUES DES FLUIDES DE GISEMENT

2.0. Tension de vapeur d'un corps pur. Diagramme P.T.

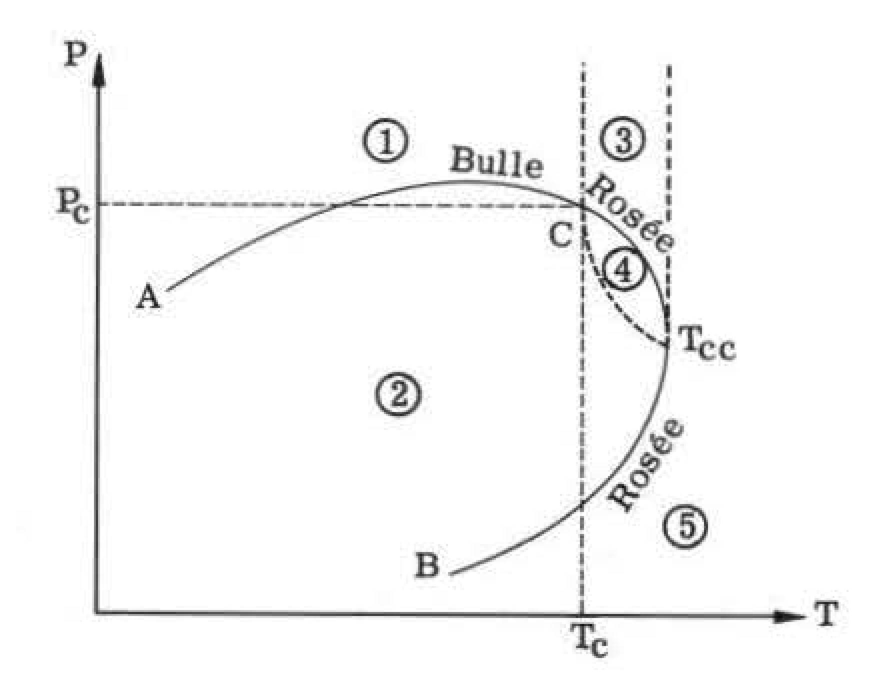


Pression d'équilibre d'un corps pur à l'état diphasique, l'une des phases étant la vapeur.

Cette pression d'équilibre ne dépend que de la température.

2.1. Équilibres liquides-vapeurs

2.1.1. DIAGRAMME DES PHASES



Courbe AC : courbe de bulle.

Courbe CB : courbe de rosée.

C : Point critique pour lequel il n'y a pas de distinction possible entre plases liquide et vapeur;

T_c et P_c : pression et température critiques du système;

T_{cc} cricondentherm : température au-dessus de laquelle il ne peut plus y avoir de liquide quelle que soit la pression;

① Zone monophasique liquide : huile sous-saturée ;

② Zone biphasique de vaporisation ;

③ Zone monophasique gaz ("gaz humide") ;

④ Zone biphasique de condensation rétrograde ;

⑤ Zone monophasique gaz ("gaz sec").

2.1.2. CONSTANTES D'EQUILIBRES

$$\boxed{K_i = \frac{Y_i \text{ (vap.)}}{X_i \text{ (liq.)}}} \qquad (2.1.2)$$

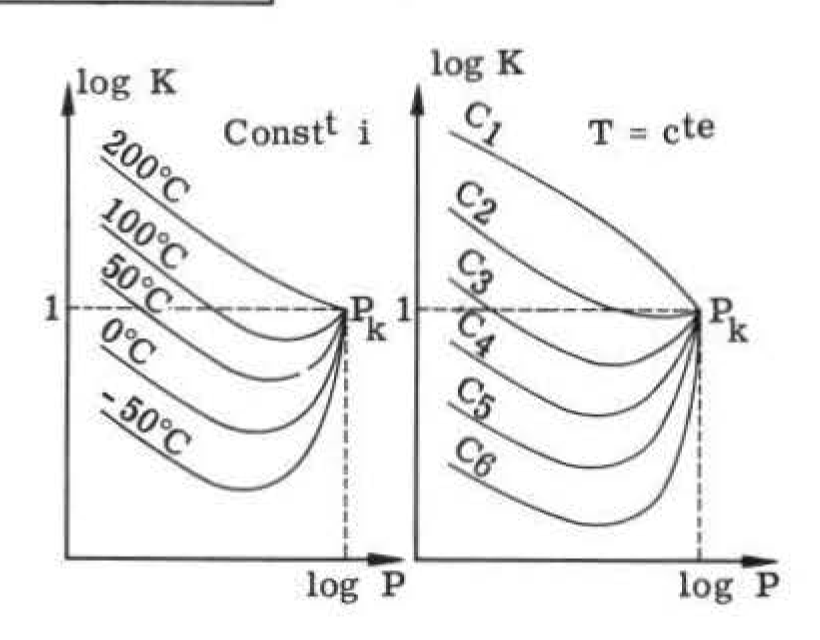


Fig. 2.1.2.a Fig. 2.1.2.b

Y_i : Fraction moléculaire du constituant i dans la phase vapeur ;

X_i : Fraction moléculaire du constituant i dans la phase liquide ;

K_i : est donné par graphiques pour chaque constituant i en fonction de la température et de la pression [réf. NGAA data book, schéma (2.1.2.a)].

Pour les C_{7+} on utilise les courbes d'un constituant plus lourd (ex. C_{10}) dont la masse moléculaire est à peu près égale à celle des C_{7+}.

Dans certains cas on construit les courbes K pour un complexe donné à une température fixe [schéma (2.1.2.b)].

La pression de convergence P_k dépend de la composition globale du complexe et peut être évaluée approximativement par l'abaque de la planche II. 1.

Pour les calculs classiques de séparation de chantier portant sur des huiles de densité moyenne on prend généralement P_k égal à 5 000 psi et on utilise directement le diagramme de Winn (Planche II.2).

2.1.3. SEPARATION DIPHASIQUE D'UN MELANGE

$$\boxed{\sum_{i=1}^{i=n} X_i = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Z_i}{L + VK_i} = 1} \quad (2.1.3)$$

avec $\boxed{L + V = 1}$

Z_i : fraction moléculaire d'un constituant i dans l'ensemble du complexe ;

V : fraction des moles gazeuses dans l'ensemble ;

L : fraction des moles liquides dans l'ensemble.

L'équation (2.1.3) est résolue par itérations sur le terme V jusqu'à ce que $\Sigma X_i = 1$.

La composition du liquide Y_i est obtenue par l'équation (2.1.2) : $Y_i = K_i . X_i$.

2.2. Comportement des gaz

2.2.1. LOI DES GAZ

$$\boxed{P.V = Z.n.R.T_k = Z \frac{m}{M} R.T_k} \quad (2.2.1)$$

R : constante universelle $= 8,315.10^7$ C.G.S. $= 8,315.10^{-5}$ SI (m^3, bars) (pour une molécule-gramme) ;

n : nombre de moles intéressées ;

M : masse moléculaire ;

m : masse de gaz intéressé ;

T_k : température absolue (°C + 273) ;

P : pression absolue (comptée depuis le vide parfait)

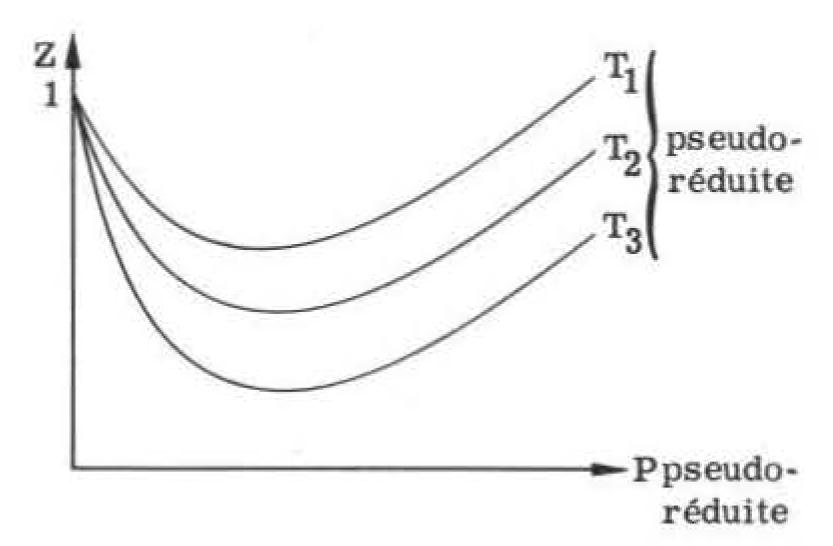
Volumes occupés par 1 mole-gramme de gaz :

- à 0°C et 1 atm : 22.413 cm^3
- à 15°C et 1 bar : 23.957 cm^3

2.2.2. FACTEUR DE COMPRESSIBILITE Z



$$Z = f(T_r . P_r) \qquad (2.2.2)$$



Ce facteur Z représente la déviation du comportement des gaz réels par rapport aux gaz parfaits.

Il est donné graphiquement (pl. II.3) en fonction de :

- la pression pseudo-réduite : $P_r = \frac{P}{P_c}$

  P et P_c pressions absolues.

- la température pseudo-réduite :

  $T_r = \frac{T}{T_c}$

avec $T_c = \frac{\sum T_{ci} . n_i}{\sum n_i}$ et $P_c = \frac{\sum P_{ci} . n_i}{\sum n_i}$

moyennes pondérées des températures et pressions critiques des constituants du complexe. Les constantes T_{ci} et P_{ci} de chaque constituant sont données sur la planche II.4. Pour les C_7+ voir planche II.5.

Si l'on ne possède pas d'analyse moléculaire on obtient approximativement T_c et P_c en fonction de la densité du gaz/air par l'abaque de la figure II.6.

2.2.3. MASSE VOLUMIQUE

$$\rho_g = \frac{M}{Z . R . T_k} P \qquad (2.2.3)$$

2.2.4. DENSITE PAR RAPPORT A L'AIR

$$d_g = \frac{M}{29} \qquad (2.2.4)$$

22,4 l : volume occupé par une mole à 0°C et 1 atm ;

1,293 g/l : masse volumique de l'air à 0°C et 1 atm ;

29 ≠ 22,4 x 1,293.

2.2.5. FACTEUR VOLUMETRIQUE

$$B_g = \frac{\text{Volume Cond. Fond}}{\text{Volume Cond. Standard}} = \frac{P_{st}}{T_{k_{st}}} . \frac{Z . T_k}{P} \qquad (2.2.5)$$

$$B_g = 0{,}00348 \frac{Z . T_k}{P} \qquad (2.2.5.up)$$

L'équation (2.2.5.up) est obtenue en prenant : $P_{st} = 1$ bar et $T_{k_{st}} = 288°K$ (15°C).

2.2.6. COMPRESSIBILITE ISOTHERME

$$C_g = \frac{1}{P} - \frac{1}{Z} \cdot \frac{dZ}{dP} \qquad (2.2.6)$$

$$C_g = \frac{1}{P} \qquad (2.2.6.a)$$

L'équation (2.2.6.a) est obtenue en supposant que Z est constant.

2.2.7. VISCOSITE

On calcule la viscosité des gaz par abaques (pl. II.7) en fonction des caractéristiques réduites. Elle varie, selon les pressions, températures et compositions moléculaires de 0,01 à 0,06 cPo.

2.3. Gaz à condensat

2.3.1. CALCULS APPROCHES (en l'absence d'analyse moléculaire du complexe)

2.3.1.1. Masse moléculaire moyenne du complexe (gaz + condensat)

$$M_m = \frac{d_o + 0,001293\ R.d_g}{\frac{d_o}{M_o} + \frac{R}{22\ 400}} \qquad (2.3.1.1)$$

$$M_o \neq \frac{44,29\ d_o}{1,03 - d_o} \qquad (2.3.1.1.a)$$

La masse moléculaire moyenne du complexe est donnée par la formule (2.3.1.1.) en fonction :

- de la densité du liquide recueilli en surface d_o (par rapport à l'eau) ;
- de la densité du gaz de séparateur : d_g (par rapport à l'air) ;
- du GOR de séparation : R en m^3 (0°C, 76 cm Hg)/m^3 ;
- de la masse moléculaire moyenne du condensat recueilli M_o, obtenue approximativement par la relation empirique (2.3.1.1.a) (réf. Cragoe).

2.3.1.2. Densité moyenne du complexe (gaz + condensat)

$$d_m/air = \frac{M_m}{29} \qquad (2.3.1.2.a)$$

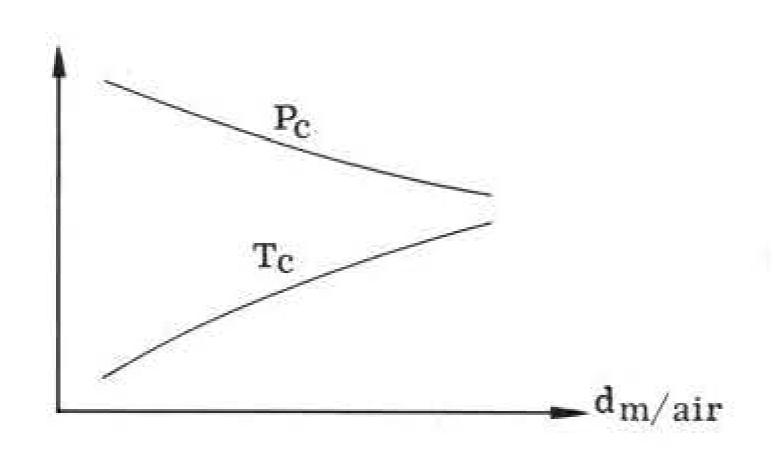
$$d_m/air = \frac{773,4\ d_o + R.d_g}{\frac{22\ 400\ d_o}{M_o} + R} \qquad (2.3.1.2.b)$$

Les équations (2.3.1.2.a) et (2.3.1.2.b) se déduisent des relations précédentes .

La densité moyenne est utilisée :

- pour calculer les pressions de fond à partir des pressions de tête dans le puits;
- pour calculer le facteur de compressibilité nécessaire pour évaluer les réserves en place (paragr. 2.3.1.3).

2.3.1.3. Facteur de compressibilité du complexe (gaz + condensat)



Pour calculer le facteur Z du complexe on utilise la même méthode que pour les gaz secs, indiquée au paragraphe 2.2.2.

La température et la pression pseudo-critiques du gaz à condensat sont données par l'abaque de la planche II.6, en fonction de la densité moyenne $d_{m/air}$ calculée au paragraphe 2.3.1.2.

2.4. Comportement des huiles brutes

2.4.1. FACTEUR VOLUMETRIQUE

$$B_o = \frac{\text{Vol. de l'huile gazée cond. fond}}{\text{Vol. de l'huile résiduelle cond. std}}$$

Le facteur B_o dépend du processus thermodynamique suivi par l'huile entre les conditions fond et les conditions standard.

Il peut être obtenu par l'abaque II.8.

2.4.2. RAPPORT DE DISSOLUTION (G.O.R.)

$$R_S = \frac{\text{Volume de gaz (cond. std) dissous dans l'huile à pression et temps du gisement}}{\text{Volume d'huile dégazée dans les conditions de surface standard}}$$

2.4.3. COMPRESSIBILITES ISOTHERMES DE L'HUILE

2.4.3.1. Compressibilité de l'huile monophasique

$$C_o = -\frac{1}{V}\left(\frac{dV}{dP}\right)_{T = c^{te}} \qquad (2.4.3.1)$$

C_o varie selon la composition, la pression et la température de $0,7.10^{-4}$ V/V/bar à 2.10^{-4} V/V/bar (moy. 1.10^{-4})

2.4.3.2. Compressibilité apparente (ou effective) de l'huile

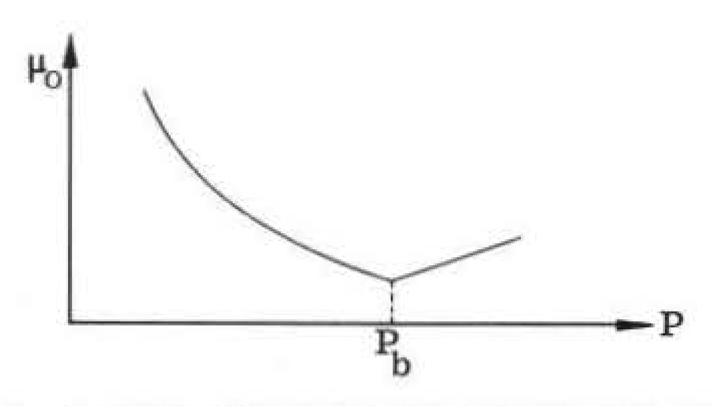
$$C_e = \frac{C_o S_o + C_w S_w + C_r}{S_o} \qquad (2.4.3.2)$$

Les compressibilités de l'eau interstitielle et de la roche sont ainsi incluses dans la phase huile

C_w et C_r sont de l'ordre de $0,5.10^{-4}$ V/V/bar.

$$\left(C_r = \frac{1}{V_p}\frac{dV_p}{dP}\right)$$

2.4.4. VISCOSITE DE L'HUILE CONDITIONS FOND



Lorsque μ_o (cond. fond) n'est pas mesuré directement en laboratoire, on utilise des abaques de corrélation (pl. II. 9).

2.4.5. MASSE VOLUMIQUE TIREE DE LA COMPOSITION MOLECULAIRE

% mol.	Masse	Vol. cond. std
n_1C_1 n_2C_2 ⋮ n_7C_{7+}	$m_i = n_i M_i$ ⋮	$V_i = \frac{n_i M_i}{\rho_i}$ ⋮
	$\sum m_i$	$\sum v_i$

$$\rho_{st} = \frac{\sum m_i}{\sum v_i}$$

A partir de la composition moléculaire de l'effluent, on calcule la masse m_i et le volume conditions standard correspondant v_i de chaque élément. Les valeurs M_i et ρ_i sont données sur la planche II.4, sauf celles du C_{7+} qui sont données par l'analyse.

Pour le C_1 et le C_2 qui ne sont pas liquides dans les conditions standard, on utilise une densité apparente moyenne $\rho_1 = 0,28$ g/cm^3 pour le C_1 et $\rho_2 = 0,42$ g/cm^3 pour le C_2.

On corrige ensuite ρ_{st} en fonction de la température fond et de la pression fond pour obtenir ρ_o cond. fond (voir abaques de transformation sur planche II.10).

2.5. Eaux de gisements

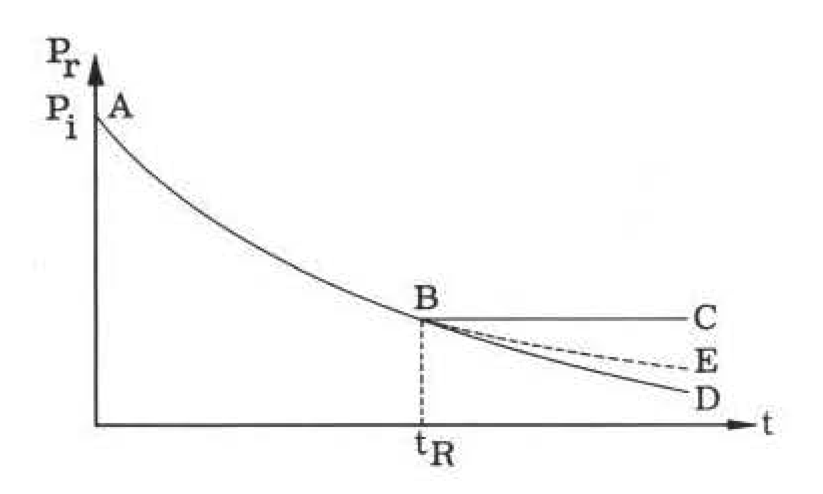
Masse volumique des eaux de gisement (fig. II.11).

3. ÉCOULEMENTS MONOPHASIQUES (EN MILIEU HORIZONTAL, ISOTHERME, HOMOGÈNE, ISOTROPE)

3.0. Définitions

Une mise en production, une modification ou un arrêt du soutirage, créent dans le milieu poreux une perturbation qui se propage de proche en proche jusqu'à la limite de drainage : c'est le mouvement transitoire.

Quand cette limite est atteinte et qu'elle est alimentée, il s'établit un régime permanent. Si elle n'est pas alimentée, il s'établit un régime pseudo-permanent. En mouvement permanent, la compressibilité du fluide et la porosité du milieu ne jouent aucun rôle.



AB : régime transitoire :

t_R : temps au bout duquel une limite est atteinte ;

BC : limite alimentée : mouvement permanent ;

BD : limite non alimentée : mouvement pseudo-permanent ;

BE : pas de limite, milieu infini : le mouvement transitoire continue.

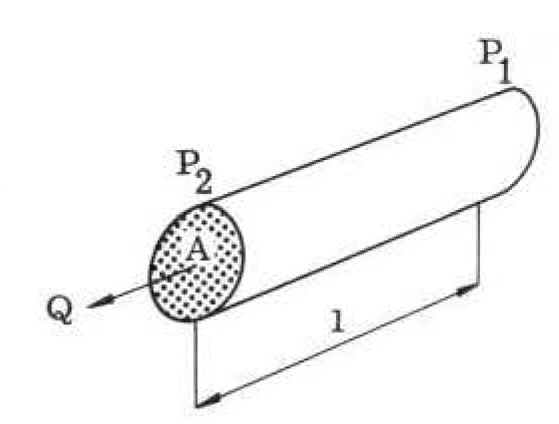
3.1. Écoulement des liquides en mouvement permanent

Les équations du mouvement permanent sont beaucoup plus simples que celles des mouvements transitoires. Aussi les applique-t-on souvent à des écoulements qui ne sont pas réellement stabilisés, approximation valable sur un laps de temps court si l'on admet que ces écoulements non stabilisés sont assimilables à une suite d'écoulements permanents.

3.1.1. ECOULEMENT LINEAIRE

$$\boxed{Q = \frac{A.k\,(P_1 - P_2)}{B.\mu.l}} \qquad (3.1.1.0)$$

$$Q = 0{,}853.10^{-2}\,\frac{A.k\,(P_1 - P_2)}{B.\mu.l} \qquad (3.1.1.0.up)$$

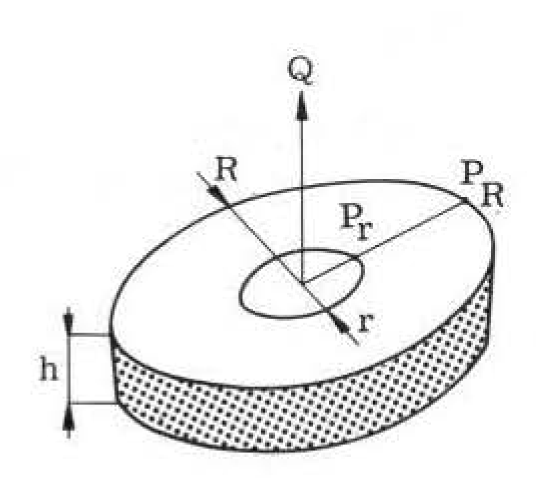


C'est la forme simplifiée de la loi de Darcy.

3.1.2. ECOULEMENT RADIAL CIRCULAIRE

3.1.2.1. Equation de débit

$$\boxed{Q = \frac{2\pi.h.k\,(P_R - P_r)}{B.\mu.L_e\,\frac{R}{r}}} \qquad (3.1.2.1)$$



$$Q = 0{,}0233 \frac{h.k\,(P_R - P_r)}{B.\mu.\log\frac{R}{r}} \qquad (3.1.2.1.\ up)$$

Formule simplifiée ($\log\frac{R}{r} = 3{,}3$) :

$$Q = 0{,}007 \frac{h.k\,(P_R - P_r)}{B.\mu} \qquad (3.1.2.1\,bis.\ up)$$

En pratique le rayon R est difficile à déterminer. Lorsque plusieurs puits sont régulièrement espacés et produisent à des débits comparables, on prend $R = \frac{d}{2}$ (d = distance moyenne puits)

Dans la plupart des cas la valeur de $\log\frac{R}{r}$ est comprise entre 3 et 3,6.

On peut donc simplifier la formule (3.1.2.1) en prenant $\log\frac{R}{r} = 3{,}3$.

La pression P_R est généralement supposée égale à la pression statique mesurée puits fermé, ce qui n'est pas toujours exact (cas des gisements fermés où la pression statique puits fermé est la pression moyenne)

$$\int_r^R \frac{P\,2\pi r\,dr}{\pi(R^2 - r^2)}$$

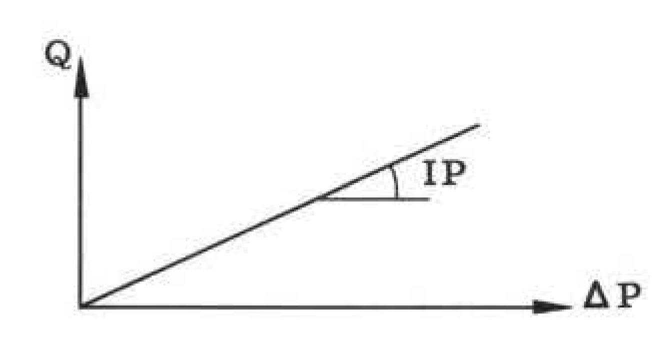
3.1.2.2. Index de productivité

$$\boxed{IP = \frac{Q}{P_R - P_r} = \frac{2\pi.h.k}{B.\mu.L_e\frac{R}{r}}} \qquad (3.1.2.2.)$$

$$IP = \frac{Q}{P_R - P_r} = 0{,}0233 \frac{h.k}{B.\mu.\log\frac{R}{r}} \qquad (3.1.2.2.up)$$

Formule simplifiée ($\log\frac{R}{r} = 3{,}3$) :

$$IP = \frac{Q}{P_R - P_r} = 0{,}007 \frac{h.k}{B.\mu} \qquad (3.1.2.2\,bis.up)$$



La proportionnalité entre Q et ΔP est très générale et se rencontre même quand le milieu n'est ni homogène, ni radial circulaire. Dans ce cas l'IP caractérise le puits mais les équations (3.1.2.2) ne sont plus applicables.

3.1.2.3. Perméabilité tirée de l'I. P.

$$\boxed{h.k = IP \frac{B.\mu.L_e\frac{R}{r}}{2\pi}} \qquad (3.1.2.3)$$

$$h.k = 43\ IP.B\mu.\log\frac{R}{r} \qquad (3.1.2.3.up)$$

Formule simplifiée ($\log\frac{R}{r} = 3{,}3$)

$$h.k = 142\ IP.B.\mu \qquad (3.1.2.3\,bis.up)$$

La perméabilité tirée de l'I.P. englobe l'effet de colmatage. Elle est généralement différente de celle tirée des remontées de pression (chap. 3.4).

3.2. Écoulement des liquides en mouvement transistoire radial circulaire. Zone voisine du puits non altérée

3.2.1. MILIEU INFINI - DEBIT DE SOUTIRAGE CONSTANT

Le cas du milieu infini est utilisé chaque fois que la durée de l'écoulement est suffisamment courte pour que la limite de drainage ne se fasse pas sentir (essai en cours de forage, essai de courte durée).

3.2.1.1. Equation de diffusivité - Fonction E_i

$$P_i - P_r = \frac{B.Q.\mu}{4\pi.h.k} E_i \left(-\frac{r^2}{4\eta.t}\right) \quad (3.2.1.1)$$

$$\eta = \frac{k}{c.\mu.\phi} \quad (3.2.1.1.a)$$

η est appelé diffusivité.

La fonction E_i est donnée par graphique (fig. II.12).

c est généralement la compressibilité effective définie en (2.4.3.2)

3.2.1.2. Approximation logarithmique

$$P_i - P_r = \frac{B.Q.\mu}{4\pi.h.k} \left(0{,}809 + L_e \frac{\eta.t}{r^2}\right) \quad (3.2.1.2)$$

$$\text{si } \frac{r^2}{4\eta.t} < \frac{1}{100} \quad (3.2.1.2.a)$$

La fonction E_i a une forme logarithmique (3.2.1.2) quand la condition (3.2.1.2.a) est remplie. C'est très généralement le cas lorsque l'on étudie l'évolution de la pression dans un puits où r est faible (de l'ordre de 10 cm) et t est supérieur à quelques secondes.

$$P_i - P_r = 21{,}5 \frac{B.Q.\mu}{hk} \log \frac{0{,}0008\ k.t}{c.\mu.\phi.r^2} \quad (3.2.1.2.up)$$

$$\text{si } \frac{t}{r^2} > 7.10^4 \frac{c.\mu.\phi}{k} \quad (3.2.1.2.a.up)$$

t en heures

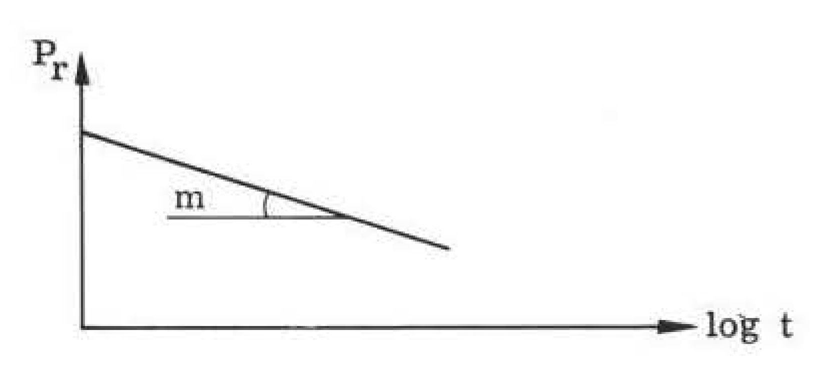
3.2.1.3. Perméabilité tirée de l'équation de diffusivité ("draw down")

$$h.k = \frac{B.Q.\mu}{4\pi.m_e} \quad (3.2.1.3.)$$

$$h.k = 21{,}5 \frac{B.Q.\mu}{m_{10}} \quad (3.2.1.3.up)$$

m_e : pente en $\log_e$

m_{10} : pente en $\log_{10}$

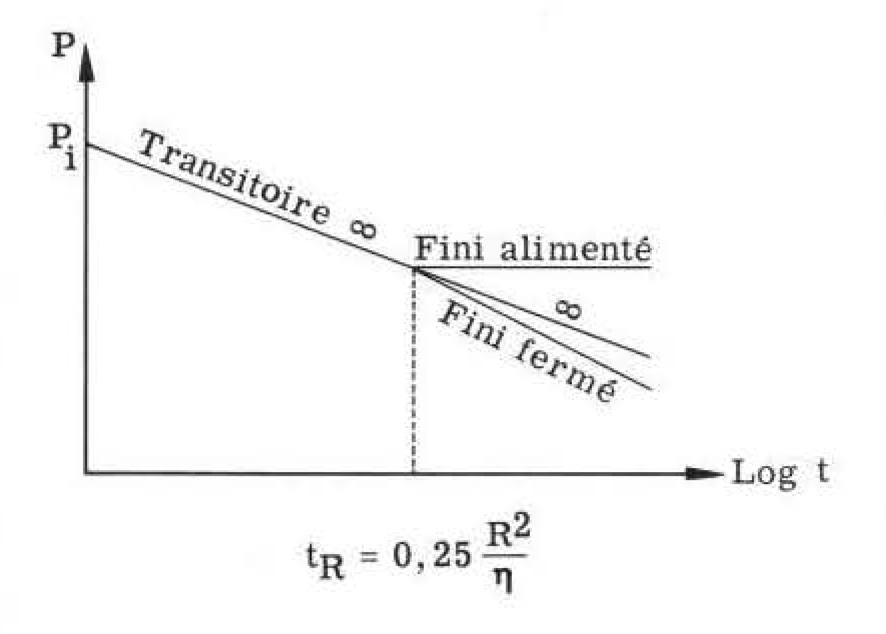


$$\text{pente} = \frac{(P_i - P_r)}{\log t_1 - \log t_2}$$

3.2.2. MILIEUX FINIS - DEBIT DE SOUTIRAGE CONSTANT

3.2.2.1. Solution pratique, commune aux milieux finis

Cette solution approchée n'entraîne pas d'erreur relative sur P_r supérieure à 1/100.



On suppose que, dans tous les cas, le mouvement transitoire dure jusqu'au temps $t = 0,25 \frac{R^2}{\eta}$ et qu'il se transforme brutalement en mouvement permanent ou semi-permanent.

D'où la règle pratique suivante :

pour $t < 0,25 \frac{R^2}{\eta}$

mouvement transitoire, utilisation de l'équation (3.2.2.1.a.up) ;

pour $t > 0,25 \frac{R^2}{\eta}$

deux solutions possibles :

- si la limite est alimentée : mouvement permanent - utilisation de la formule (3.2.2.1.b.up) ;
- si la limite est fermée : mouvement pseudo-permanent - utilisation de la formule (3.2.2.1.c.up).

$$P_i - P_r = 21,5 \frac{B.Q.\mu}{h.k} \log \frac{0,0008\, k.t}{\phi.\mu.c.r^2} \quad (3.2.2.1.a.up)$$

$$P_R - P_r = 43 \frac{B.Q.\mu}{h.k} \log \frac{R}{r} \quad (3.2.2.1.b.up)$$

$$P_R - P_r = 43 \frac{B.Q.\mu}{h.k} \log 0,6 \frac{R}{r} \quad (3.2.2.1.c.up)$$

3.2.3. ECOULEMENTS A DEBITS DE SOUTIRAGE VARIABLES

$$P_i - P_R = \frac{\mu . B}{4\pi.h.k} \left[Q_1 \left(0,809 + L_e\, \eta \frac{t}{r^2}\right) + (Q_2 - Q_1)\left(0,809 + L_e\, \eta \frac{t - t_1}{r^2}\right) + \ldots + (Q_{n+1} - Q_n)\left(0,809 + L_e\, \eta \frac{t - t_n}{r^2}\right) \right] \quad (3.2.5)$$

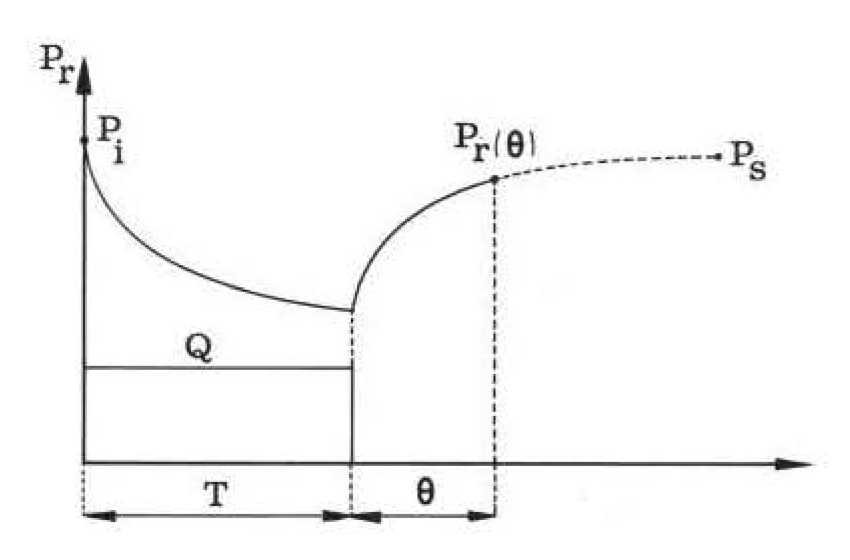
Application du principe de superposition.

t_j : temps auquel le débit est passé de Q_j à Q_{j+1}.

3.3. Remontées de pression

3. 3. 1. MILIEU INFINI - FERMETURE APRES DEBIT CONSTANT

3. 3. 1. 1. Equation de remontée de pression (build up)

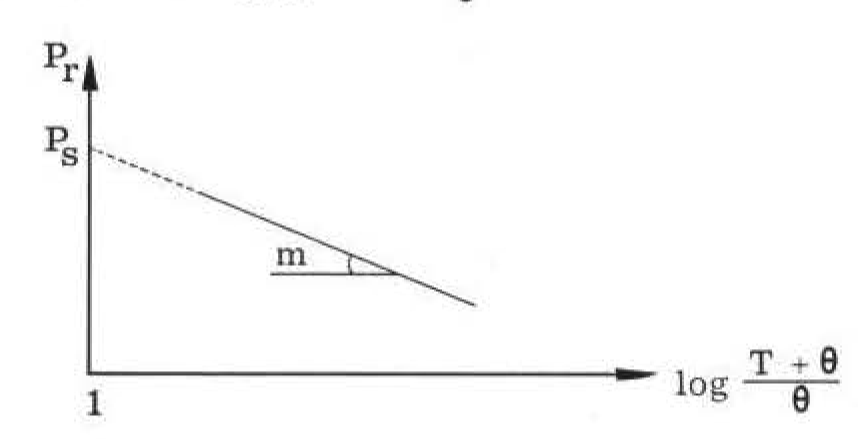


$$P_s - P_r = \frac{B.Q.\mu}{4\pi.h.k} L_e \frac{T+\theta}{\theta} \quad (3.3.1.1.a)$$

$$P_s - P_r = 21{,}5 \frac{B.Q.\mu}{h.k} \log \frac{T+\theta}{\theta} \quad (3.3.1.1.a.up)$$

C'est l'application de la formule précédente (3.2.5) avec $Q_2 = 0$ et $\theta = t - t_1$

On obtient la pression statique moyenne par extrapolation de P_r jusqu'à $\log \frac{T+\theta}{\theta} = 1$



Si le débit Q avant fermeture n'est pas stabilisé on peut prendre un temps

$$T = \frac{N_p}{Q}$$

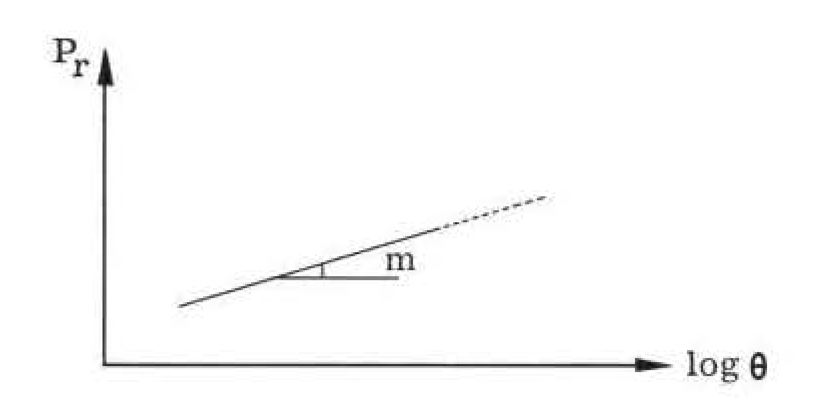
N_p étant la production cumulée.

$$P_r = C^{te} + \frac{B.Q.\mu}{4\pi.h.k} L_e\theta \quad (3.3.1.1.b)$$

$$P_r = C^{te} + 21{,}5 \frac{B.Q.\mu}{h.k} \log\theta \quad (3.3.1.1.b.up)$$

Lorsque le temps de débit T est très grand par rapport à θ, on a $\log T + \theta / \theta \# \text{Log } T/\theta$ et il est alors plus aisé d'utiliser l'équation (3.3.1.1.b)

Dans ce cas on peut calculer k par la pente m qui est la même que précédemment mais on ne peut extrapoler P_r que si le milieu est limité et qu'on connaıt R.



3. 3. 1. 2. Perméabilité tirée de la remontée de pression

$$h.k = \frac{B.Q.\mu}{4\pi.m_e} \quad (3.3.1.2)$$

$$h.k = 21{,}5 \frac{B.Q.\mu}{m_{10}} \quad (3.3.1.2.up)$$

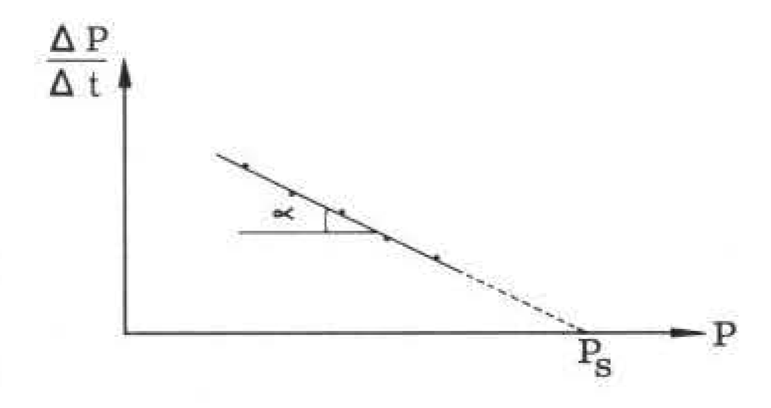
C'est la perméabilité loin du puits, non affectée par le colmatage. Elle est théoriquement identique à celle tirée de l'équation de débit (3.2.1.3).

3.3.2. REMONTEES DE PRESSION EN MILIEUX LIMITES

3.3.2.1. Milieu fini alimenté

Dans certaines limites de temps, l'équation en log θ (3.3.1.1.b) est applicable. On peut donc chercher sur la courbe en log θ une partie rectiligne et en déduire h.k.

3.3.3. REMONTEE DU NIVEAU DANS UN PUITS NON ERUPTIF



$$\boxed{\frac{\Delta P}{\Delta t} = \alpha \, (P_S - P_r)} \qquad (3.3.3.a)$$

$$\boxed{h.k = \frac{B.Q.\mu.L_e \frac{R}{r}}{2\pi \, (P_S - P_f)}} \qquad (3.3.3.b)$$

$$h.k = 43 \, \frac{B.Q.\mu.\log \frac{R}{r}}{P_S - P_f} \qquad (3.3.3.b.up)$$

Lorsque le débit n'est pas arrêté instantanément et que la remontée de pression se fait en même temps que la remontée du fluide dans le puits (cas des mesures par échomètres sur puits pompés), il est très difficile d'utiliser les formules précédentes.

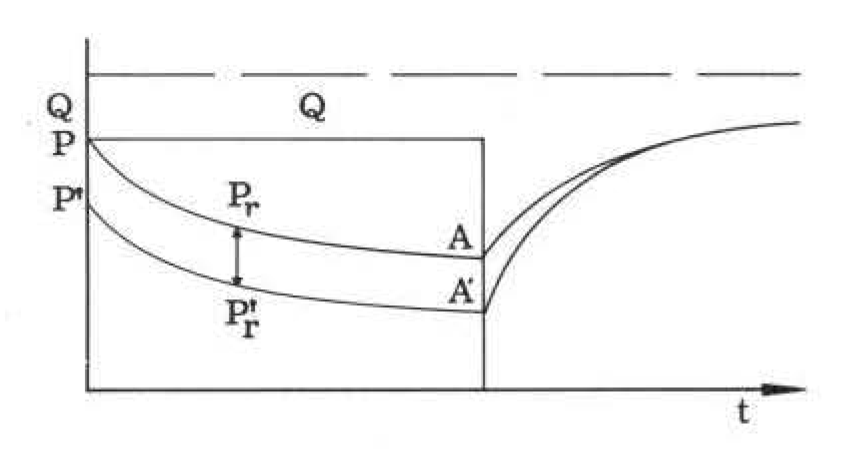
Si la mesure a été arrêtée avant stabilisation on peut obtenir P_S par extrapolation graphique en portant le taux d'accroissement de la pression $\Delta P / \Delta t$ en fonction de la pression moyenne au cours du step de temps considéré.

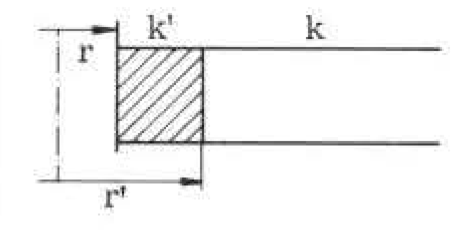
La perméabilité est alors calculée à partir du débit permanent Q établi avant arrêt du soutirage et de la pression d'écoulement correspondante P_f.

3.4. Effet d'hétérogénéité de paroi (skin effect)

3.4.1. DEFINITION DU COEFFICIENT D'EFFET DE PAROI

$$\boxed{S = \frac{k - k'}{k'} \, L_e \frac{r'}{r}} \qquad (3.4.1)$$





Une zone de rayon r' est détériorée par colmatage boue forage ou améliorée par stimulation. Sa perméabilité est k'. La pression réellement observée dans le puits est P'_r. Celle qui existait sans effet de paroi est P_r.

Perte de charge due à l'effet de paroi :

$$\boxed{P_r - P'_{r'} = \frac{B.Q.\mu}{2\pi.h.k} S} \quad (341\ a)$$

$$P_r - P'_{r'} = 18,6\ \frac{B.Q.\mu}{h.k} S \quad (341\ a.\ up)$$

S > 0 : puits colmaté ;

S = 0 : pas d'effet de paroi ;

S < 0 : puits stimulé.

3.4.2. MODIFICATION DE L'EQUATION DE DEBIT EN MILIEU INFINI

$$\boxed{P_i - P'_r = \frac{B.Q.}{4\pi.h.k}\left(0,809 + 2\ S + L_e \frac{\eta.t}{r^2}\right)} \quad (3.4.2)$$

$$P_i - P'_r = 21,5\ \frac{B.Q.\mu}{h\ k}\left(0,87\ S + \log \frac{0,0008\ k.t}{\phi.\mu.c.r^2}\right) \quad (3.4.2.up)$$

P'_r : pression réellement observée avec effet de paroi ;

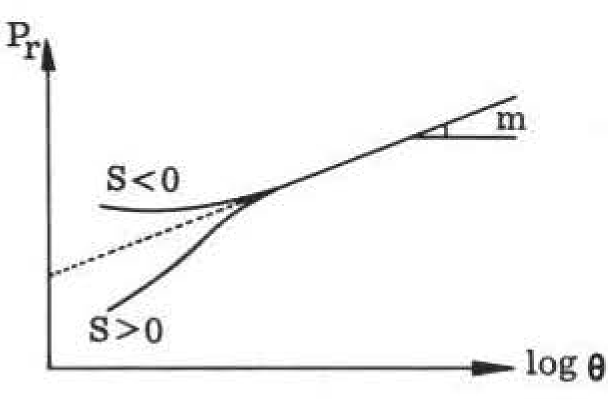
t : en heures.

3.4.3. CALCUL DE L'EFFET DE PAROI PAR LA REMONTEE DE PRESSION (MILIEU INFINI)

$$\boxed{P'_r - P'_f = \frac{B.Q.\mu}{4\pi.h.k}\left(0,809 + 2S + L_e \frac{\eta.\theta}{r^2}\right)} \quad (3.4.3)$$

$$S = \frac{1,15\ (P'_r - P'_f)}{m} - 0,405 - 1,15\ \log \frac{35\ 600\ k.\theta}{\phi.\mu.c.r^2} \quad (3.4.3.up)$$

(θ en heures)



P'_f : pression d'écoulement avec effet de paroi enregistrée avant fermeture.

3.4.4. INDEX DE PRODUCTIVITE THEORIQUE, CORRIGE DE L'EFFET DE PAROI

$$IP_{th} = \frac{Q}{(P_s - P'_f) - \frac{m}{1,15} S} \quad (3.4.4.up)$$

Cette équation se déduit de la perte de charge due à l'effet de paroi (3.4.1.a).

3.4.5. COEFFICIENT DE COLMATAGE OU RENDEMENT DE L'ECOULEMENT

$$R_c = \frac{\Delta P \text{ sans effet de paroi}}{\Delta P \text{ avec effet de paroi}} = \frac{\text{IP avec effet de paroi}}{\text{IP théorique}}$$

$$= \frac{\text{perméabilité avec effet de paroi (tirée équation débit permanent)}}{\text{perméabilité sans effet de paroi (tiree équation remontée de pression)}}$$

$$R_c = \frac{L_e \frac{R}{r}}{S + L_e \frac{R}{r}}$$ en écoulement permanent

$R_c = 1$: pas d'effet de paroi ;
$R_c < 1$: puits colmaté ;
$R_c > 1$: puits stimulé.

3.5. Écoulements des gaz

3.5.0. REMARQUES GENERALES

La loi simple de Darcy : $\frac{\Delta P}{\Delta x} = AQ$, utilisée pour les écoulements liquides n'est qu'une forme approchée d'une loi quadratique plus générale : $\frac{\Delta P}{\Delta x} = A.Q + B.Q^2$ dans laquelle le terme $B.Q^2$ est négligé.

Pour les gaz, cette simplification n'est généralement pas valable dans les zones où les vitesses d'écoulement sont élevées, comme par exemple aux abords immédiats des puits en production. Par contre les remontées de pression intéressant des zones plus lointaines, où les déplacements sont faibles, peuvent être traitées avec la loi simple. Le calcul de l'effet de paroi est déconseillé.

Les formules d'écoulement gazeux peuvent être présentées sous plusieurs formes équivalentes. Le débit est exprimé sous sa forme massique : Q_m ou volumétrique cond. standard : Q ou volumétrique cond. fond : Q.B. Les relations d'équivalence sont :

$$\frac{Q_m}{b} = \frac{Q_m . P}{\rho} = Q.B.P \quad \text{(up)} \qquad (3.5.0)$$ (voir chap. 2.1)

3.5.1. ECOULEMENT RADIAL CIRCULAIRE PERMANENT

3.5.1.1. Equation théorique exacte (loi quadratique)

$$P_R^2 - P_r^2 = A.Q_m + B.Q_m^2 \qquad (3.5.1.1)$$

$$A = \frac{\mu . L_e \frac{R}{r}}{\pi . h.k.b} \qquad (3.5.1.1.a)$$

$$B = \frac{u}{2\pi^2 . h^2 . k.b} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right) \qquad (3.5.1.1.b)$$

Forme généralisée de la loi de Darcy.

«u» : paramètre de forme non mesurable (~ 10^{-3}).

Les coefficients A et B ne peuvent donc pas être déduits des analyses de carottes, mais peuvent être calculés à partir des résultats d'essais de production (3.5.1.3).

3.5.1.2. Equation approchée (loi de Darcy)

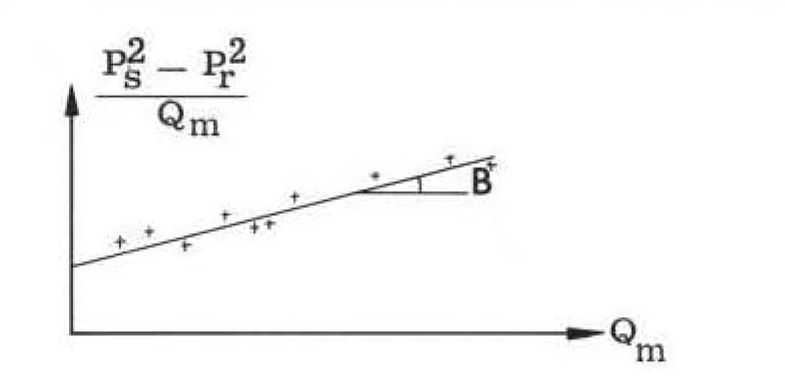
$$P_R^2 - P_r^2 = \frac{\mu . Q . \bar{B} . \bar{P} . L_e \frac{R}{r}}{\pi . h . k} \qquad (3.5.1.2)$$

$$P_R^2 - P_r^2 = 86 \frac{\mu . Q . \bar{B} . \bar{P} . \log \frac{R}{r}}{h . k} \qquad (3.5.1.2.up)$$

A n'utiliser que lorsqu'on ne connaît pas "u" et qu'on ne possède aucun résultat d'essai. Le débit Q est approché par excès.

Les valeurs soulignées sont des valeurs moyennes dans l'intervalle considéré.

3.5.1.3. Interprétation des essais de puits - Loi empirique - courbe indicatrice



La relation débit pression peut se représenter sous la forme :

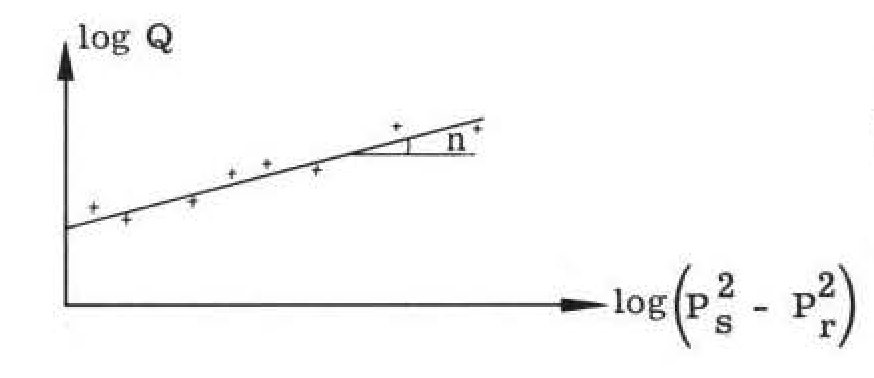
$$\frac{P_s^2 - P_r^2}{Q_m} = f(Q_m)$$

Si la courbe obtenue est linéaire on obtient une équation identique à (3.5.1.1)

$$\frac{P_s^2 - P_r^2}{Q_m} = A + B . Q_m$$

d'où on tire les valeurs de A et B et les paramètres "u", k

$$Q = C (P_s^2 - P_r^2)^n \qquad (3.5.1.3 = 3.5.1.3.up)$$



On représente souvent aussi la relation pression-débit sous la forme classique (3.5.1.3) dite courbe indicatrice (Q exprimé en conditions standard)

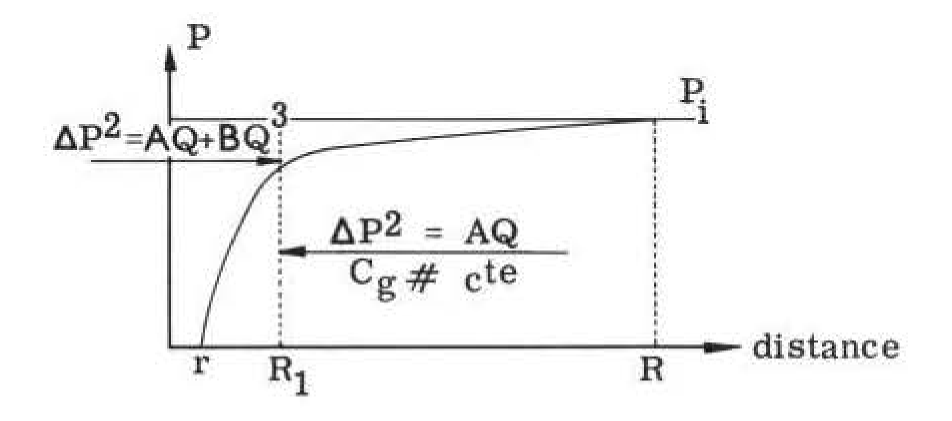
Le "potentiel absolu" du puits est obtenu en faisant $P_r = 1$ atm.

Si n = 1, il n'y a pas de déviation par rapport à la loi simple de Darcy, et ∝ est égal au coefficient constant de l'équation (3.5.1.2).

$$\text{Si } n = 1, \; C = \frac{\pi . h . k}{\mu . \bar{B} . \bar{P} . L_e \frac{R}{r}} \qquad (3.5.1.3.a)$$

3.5.2. ECOULEMENT RADIAL CIRCULAIRE TRANSITOIRE

3.5.2.1. Equation de débit (soutirage constant)



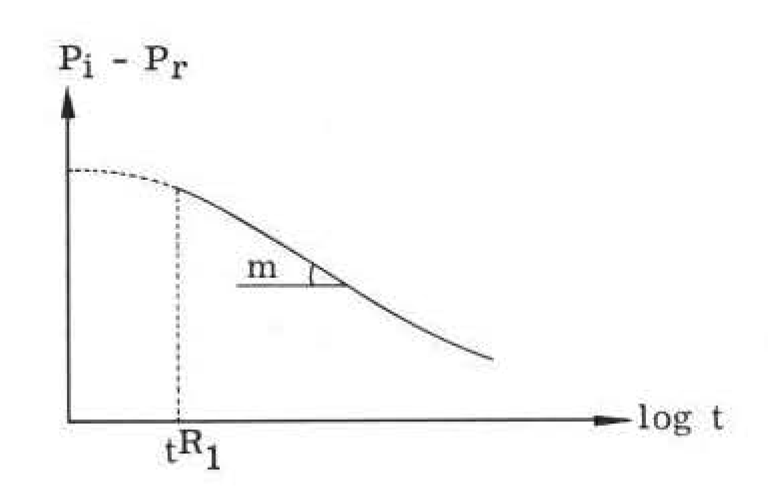
Très peu de temps après la mise en production, la perturbation a dépassé la zone R_1 proche du puits dans laquelle les écoulements sont régis par la loi quadratique, pour atteindre des régions où les vitesses d'écoulement sont faibles et où la loi simple de Darcy est applicable.

D'autre part l'essentiel des pertes de charges ayant lieu dans la zone R_1, la pression varie peu dans la couronne extérieure et on peut supposer que le gaz a une compressibilité constante et est assimilable à un liquide.

$$C_g \# \frac{1}{P} \quad \text{si} \quad Z = C^{te} \qquad \text{(voir 2.2.6)}$$

Les formules d'écoulement transitoire des liquides (chapitre 3.2) sont par conséquent applicables à une constante près correspondant aux pertes de charge supplémentaires dans la couronne $r - R_1$.

En particulier on peut tirer la perméabilité de l'équation de débit transitoi.e par la formule (3.5.2.1.a).



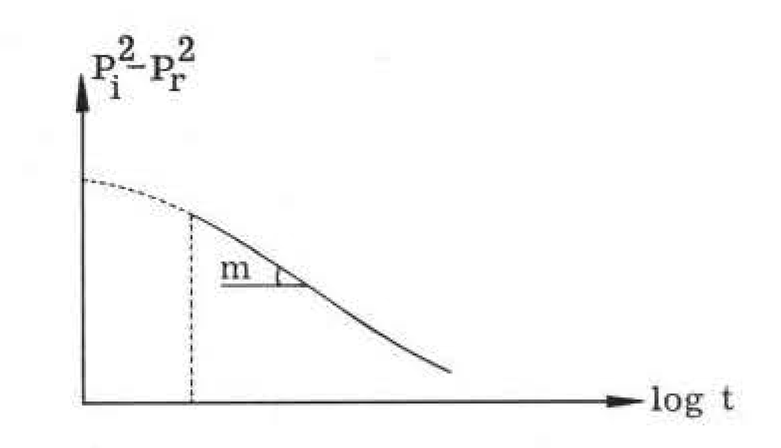
$$\boxed{h.k = \frac{\overline{B}.Q.\mu}{4\pi.m_e}} \qquad (3.5.2.1.a)$$

$$h.k = 21{,}5\,\frac{\overline{B}.Q.\mu}{m_{10}} = 0{,}075\,\frac{Q.Z.T_k.\mu}{m_{10}.\,P} \qquad (3.5.2.1.a.up)$$

On peut, si on le préfère, représenter l'écoulement en fonction du carré des pressions, ce qui revient au même car :

$$P_i^2 - P_r^2 = (P_i + P_r)(P_i - P_r) = 2\,\overline{P}\,(P_i - P_r)$$

$\overline{P}$ étant la pression moyenne d'où l'équation (3.5.2.1.b) équivalente à l'équation (3.5.2.1.a)



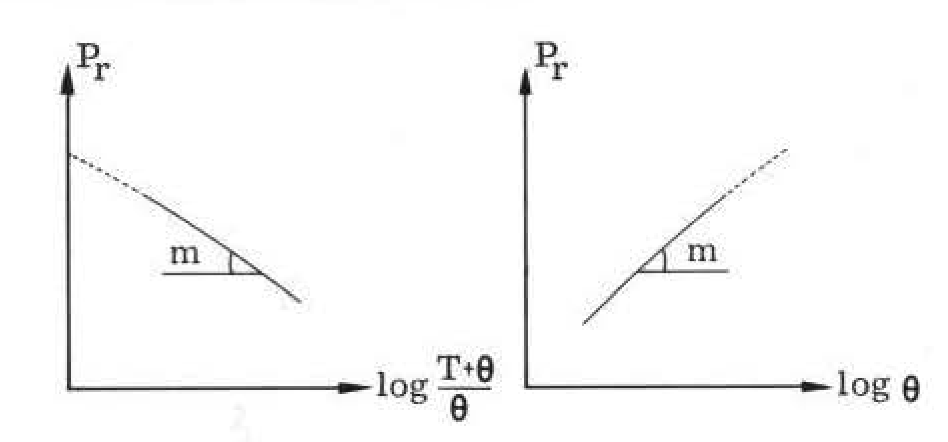
$$\boxed{h.k = \frac{\overline{B}.Q.\mu.\overline{P}}{2\pi.m'_e}} \qquad (3.5.2.1.b)$$

$$h.k = 43\,\frac{\overline{B}.Q.\mu.\overline{P}}{m'_{10}} = 0{,}15\,\frac{Q.Z.T_k.\mu}{m'_{10}} \qquad (3.5.2.1.b.up)$$

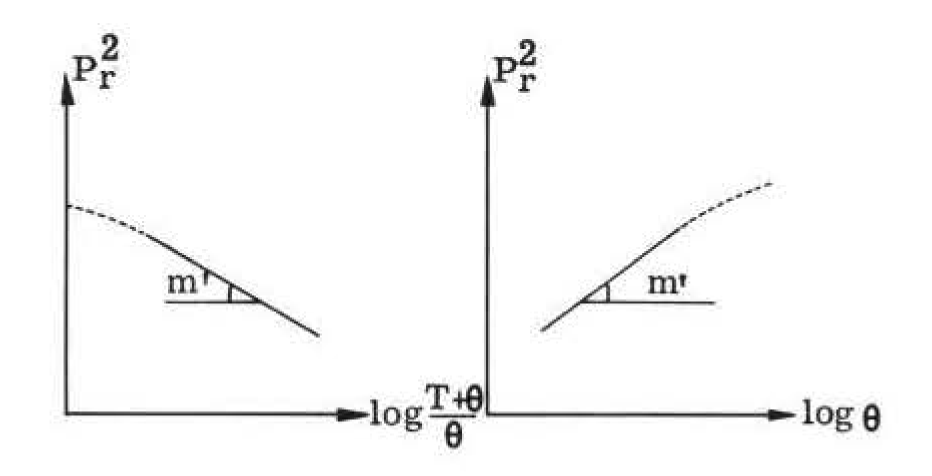
3.5.2.2. Remontées de pression

En remontée de pression les vitesses d'écoulement sont très faibles et les lois des liquides du chapitre 3.3 s'appliquent aux gaz.

La pression statique s'obtient par extrapolation en semi log.



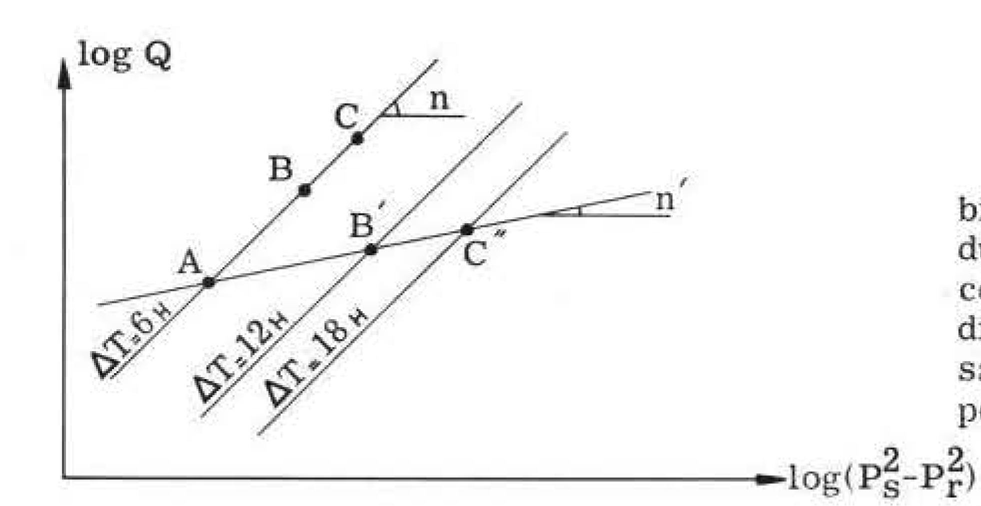
Equation (3.5.2.1.a) : Pressions simples

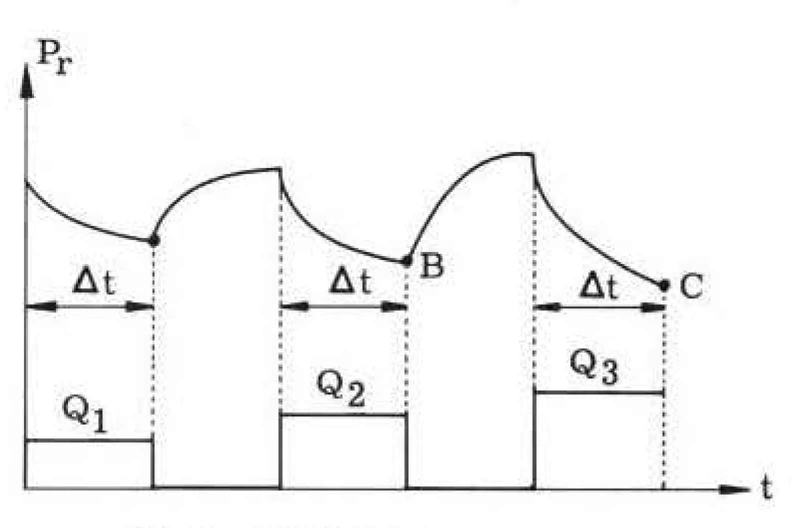


Equation (3.5.2.1.b) : Pressions au carré

La perméabilité se calcule par l'équation (3.5.2.1.a) si l'on utilise la pression simple (pente m), et par l'équation (3.5.2.1.b) si on utilise le carré des pressions (pente m').

3.5.2.3. Tests isochrones





Test classique

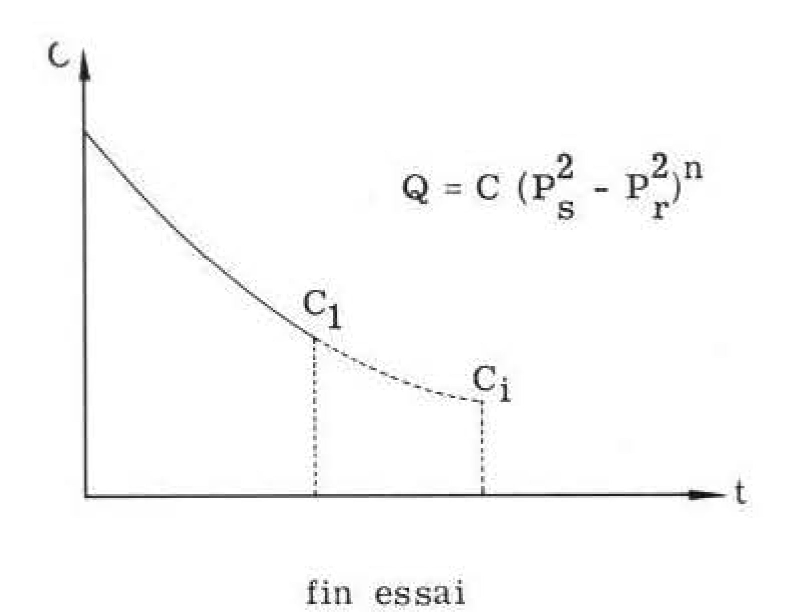
Test isochrone

Dans le cas de faibles perméabilité le mouvement transitoire dure longtemps et peut fausser la courbe indicatrice si l'on passe directement d'une duse à l'autre sans stabilisation (droite A B' C'' - pente n').

Pour y remédier on exécute des essais de débit de même durée Δt sur chaque duse, en effectuant entre chaque débit une remontée de pression stabilisée. On obtient ainsi une courbe ABC dont la pente est exacte, mais dont la position dépend de la durée Δt.

Si l'on veut obtenir la position correspondant au régime stabilisé (mouvement permanent), il faut prolonger l'essai sur la dernière duse ou extrapoler la valeur du coefficient C.

3.5.2.4. Extrapolation du coefficient C de la courbe indicatrice



fin essai

Pendant toute la durée du mouvement transitoire le coefficient C de la courbe indicatrice diminue. Il se stabilise lorsque la perturbation de pression atteint la limite de drainage du puits (analogie avec l'I.P. d'un puits à luile).

Ce coefficient "C" est relié au rayon de drainage par la relation (3.5.2.4.a).

$$C = \left(\frac{\gamma}{L_e \frac{R}{r}}\right)^n \qquad (3.5.2.4.a)$$

D'autre part le temps mis par la perturbation pour atteindre le rayon R est donné par (3.5.2.4.b).

γ est une constante dépendant uniquement des caractéristiques de la roche et du gaz

$$t_R = 0,25\,\frac{R^2}{\eta} \qquad (3.5.2.4.b)$$

$$t_R = 703\,\frac{R^2.\,\bar{C}_g.\mu_g.\phi}{k} \qquad (3.5.2.4.b.up)$$

(t en heures - $\bar{C}_g = \frac{1}{P_m}$)

$$\frac{C_i}{C_1} = \left(\frac{L_e \frac{R_1}{r}}{L_e \frac{R_i}{r}}\right)^n = \left(\frac{L_e \frac{2\sqrt{\eta.t_1}}{r}}{L_e \frac{2\sqrt{\eta.t_i}}{r}}\right)^n \qquad (3.5.2.4.c)$$

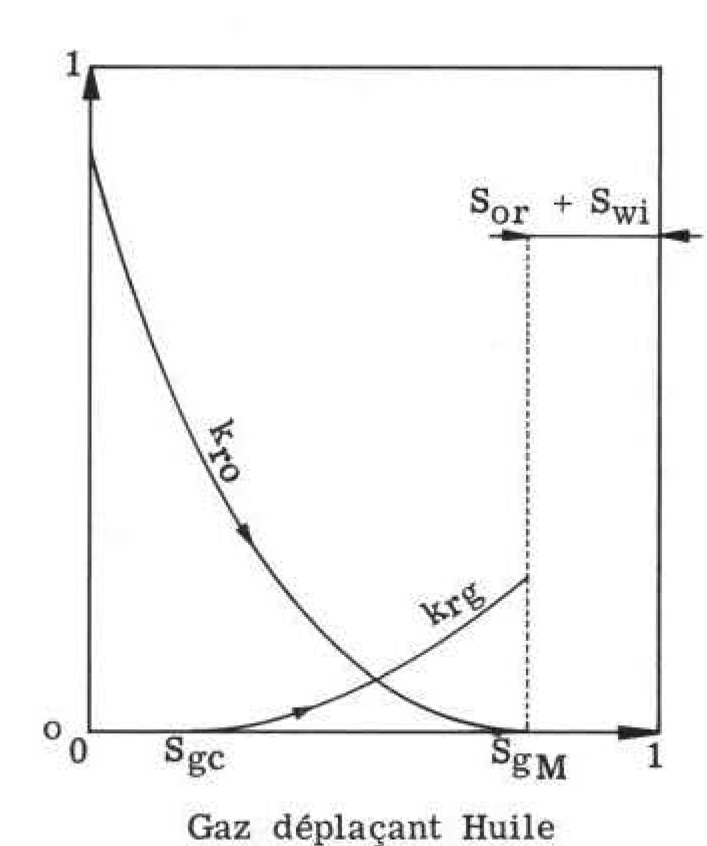
On en déduit l'équation (3.5.2.4.c) qui permet de tracer une courbe C = f (t) en fonction du dernier point C_1 mesuré au temps t_1.

On extrapole cette courbe jusqu'à la valeur de t correspondant au rayon R = d/2, d étant la distance moyenne entre puits.

4. ÉCOULEMENTS POLYPHASIQUES EN MILIEU HOMOGÈNE

4.1. Perméabilités relatives

4.1.1. CARACTERISTIQUES DES COURBES $k_r = f(S)$



Gaz déplaçant Huile

1
S or
kro
krw
0
S wi
S wM
1

Eau déplaçant Huile
(ou Eau déplaçant Gaz)

Les perméabilités relatives dépendent :

- de la nature du milieu poreux ;

- de la mouillabilité de la roche vis-à-vis du couple de fluides ;

- de la saturation ;

- de l'angularité des écoulements (généralement parallèles et à contre-courant).

Elles ne dépendent théoriquement ni des viscosités, ni de la vitesse d'écoulement.

Les courbes $k_r = f(S)$ les plus utilisées sont du type ci-contre avec les points particuliers suivants :

S_{gc} : saturation critique en gaz, à partir de laquelle le gaz commence à s'écouler ;

S_{gM} : saturation maximale en gaz, pour laquelle l'huile ne s'écoule plus :

$$S_{gM} = 1 - S_{wi} - S_{or}$$

S_{wi} : saturation interstitielle en eau ;

S_{wM} : saturation maximale en eau, pour laquelle l'huile ne s'écoule plus :

$$S_{wM} = 1 - S_{or}$$

S_{or} : saturation résiduelle en huile.

4.1.2. CALCULS DES PERMEABILITES RELATIVES

4.1.2.1. Formules de calcul approché

	Perm. relative à l'Huile	Perméabilité relative au Gaz ou à l'Eau
Sables bien classés	$k_{ro} = (S^*)^3$	$k_{rg} = (1 - S^*)^3$
Sables irréguliers	$k_{ro} = (S^*)^{3,5}$	$k_{rg} = (1 - S^*)^2 (1 - S^{*1,5})$
Grès et Calcaires	$k_{ro} = (S^*)^4$	$k_{rg} = (1 - S^*)^2 (1 - S^{*2})$

Quand on ne possède aucune mesure de perméabilité relative, on peut utiliser les formules ci-contre qui ont l'inconvénient de ne pas représenter les points particuliers de saturation critique et de saturation résiduelle.

avec $S^* = \dfrac{S_o - S_{or}}{1 - S_w - S_{or}}$ Cas Huile-Gaz ou $S^* = \dfrac{1 - S_w - S_{or}}{1 - S_{wi} - S_{or}}$ Cas Huile-Eau

4.1.2.2. Calcul des perméabilités relatives gaz/huile à partir d'un historique de production

$$\frac{k_{rg}}{k_{ro}} = \frac{\left(\dfrac{\Delta G_p}{\Delta N_p}\right)_n - (\bar{R}_s)_n}{\dfrac{\bar{B}_o}{\bar{B}_g} \cdot \dfrac{\bar{\mu}_o}{\bar{\mu}_g}} \qquad (4.1.2.2.a)$$

L'historique de production est divisé en intervalles. Dans l'intervalle "n" le G.O.R. global (sans coning) est $\left(\frac{\Delta G_p}{\Delta N_p}\right)_n$ et le G.O.R. de solution moyen est $(\bar{R}_s)_n$. L'équation (4.1.2.2.a) donne la valeur moyenne de k_{rg}/k_{ro} pendant l'intervalle et l'équation (4.1.2.2.b) fournit la saturation en gaz.

$$S_{gn} = 1 - S_{wi} - \frac{\bar{B}_{on}\left[(N - N_{pn}) - \displaystyle\sum_{j=1}^{j=n} \frac{\Delta W_{ej} \cdot S_{orw}}{(1 - S_{orw} - S_{wi})\,\bar{B}_{oj}} - \sum_{j=1}^{j=n} \frac{\Delta G_{ej} \cdot S_{org}}{(1 - S_{org} - S_{wi})\,\bar{B}_{oj}}\right]}{\dfrac{N \cdot B_{oi}}{1 - S_{wi}} - \dfrac{W_{ej}}{1 - S_{orw} - S_{wi}} - \dfrac{\Delta G_{ej}}{1 - S_{org} - S_{wi}}}$$

(4.1.2.2.b)

$$S_{gn} = (1 - S_{wi})\left[1 - \frac{B_{on}\,(N - N_{pn})}{N \cdot B_{oi}}\right] \qquad (4.1.2.2.c)$$

S_{orw} : saturation résiduelle en huile derrière le front d'eau ;

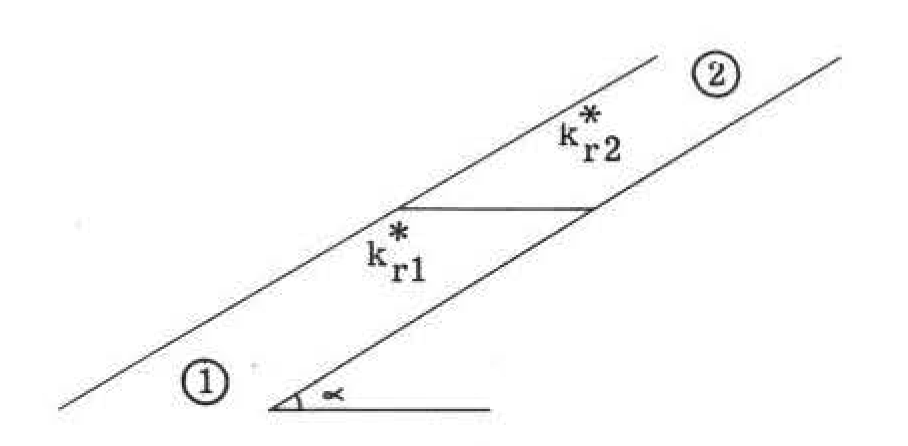
S_{org} : saturation résiduelle en huile derrière le front de gaz.

Tous les symboles surlignés correspondent à la valeur moyenne pendant l'intervalle n considéré.

La formule (4.1.2.2.b) est un bilan matières pour un gisement soumis simultanément à un drainage par gaz cap et aquifère. Dans le cas d'un gisement produisant par simple expansion de gaz dissous, elle se ramène à l'équation (4.1.2.2.c).

4.2. Déplacement linéaire d'un fluide par un autre

4.2.1. CONDITIONS DE STABILITE D'UN FRONT EN NEGLIGEANT LES FORCES CAPILLAIRES



Soit un front se déplaçant linéairement dans une couche homogène de section constante et d'inclinaison ∝. Le fluide ① déplace le fluide ②.

Les forces capillaires sont négligées.

k^*_{r2} : perméabilité relative à ② en présence de la saturation interstitielle irréductible en ① ;

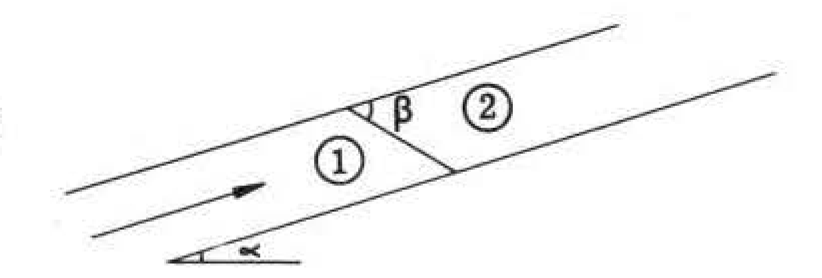
k^*_{r1} : perméabilité relative à ① en présence de la saturation résiduelle moyenne en ②.

4.2.1.1. Déplacement ayant lieu de bas vers le haut

Exemple : eau déplaçant gaz

a) Si $\rho_1 > \rho_2$ et $\dfrac{\mu_1}{k^*_{r1}} > \dfrac{\mu_2}{k^*_{r2}}$ déplacement stable : $\beta > \alpha$

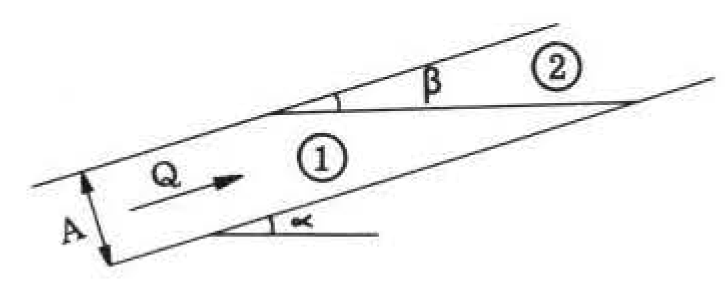
(4.2.1.1.a)



Exemple : eau déplaçant huile visqueuse

b) Si $\rho_1 > \rho_2$ et $\dfrac{\mu_1}{k^*_{r1}} < \dfrac{\mu_2}{k^*_{r2}}$. déplacement stable si la vitesse $V < V_c$: $\beta < \alpha$. déplacement instable si la vitesse $V > V_c^{\rho}$: $\beta \rightarrow 0$

(4.2.1.1.b)



$$\text{avec } V_c = \frac{Q_c}{A} = \frac{k_a(\rho_1 - \rho_2)\, g.\sin \alpha}{\dfrac{\mu_2}{k^*_{r2}} - \dfrac{\mu_1}{k^*_{r1}}} \qquad (4.2.1.1.b')$$

V_c : vitesse critique ;
Q_c : débit critique d'entrée du fluide ② (cond. fond) ;
A : Section droite nette (h_u x b)

$$V_c = 0{,}84.10^{-3}\, \frac{k.\Delta\rho.\sin \alpha}{\dfrac{\mu_2}{k^*_{r2}} - \dfrac{\mu_1}{k^*_{r1}}} \qquad (4.2.1.1.b'.up)$$

Dans le cas d'instabilité, il y a basculement complet du front. L'écoulement devient stratifié (paragr. 4.2.3).

c) Si $\rho_1 < \rho_2$ écoulem^t instable

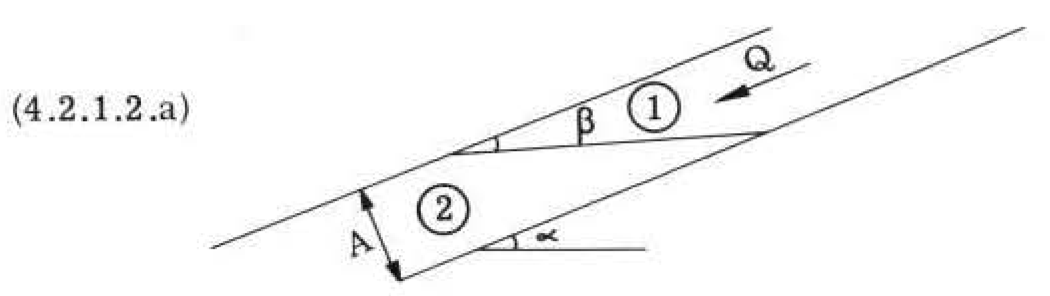
(4.2.1.1.c)

Exemple : gaz déplaçant huile de bas vers le haut.

4.2.1.2. Déplacement avant lieu de haut vers le bas

a) Si $\rho_1 < \rho_2$ et $\frac{\mu_1}{k^*_{r1}} < \frac{\mu_2}{k^*_{r2}}$. déplacement stable si $V < V_c$. déplacement instable si $V > V_c$	(4.2.1.2.a)

Exemple : gaz déplaçant huile



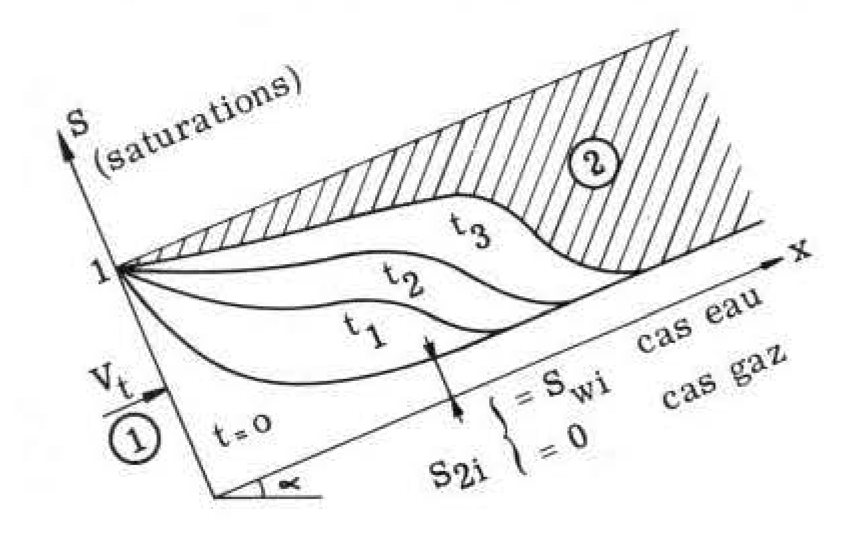
V_c dans ce cas est le même qu'en (4.2.1.1.b')

b) Si $\rho_2 > \rho_1$ déplacement instable	(4.2.1.2.b)

Exemple : eau injectée par le sommet d'un réservoir.

4.2.2. SATURATIONS RESIDUELLES DERRIERE UN FRONT STABLE

4.2.2.1. Loi d'écoulement unidimensionnel (Buckley Leverett)



Le fluide ① déplace le fluide ②

Les forces capillaires sont négligées.

Le profil des saturations en fonction du temps et de la distance est indiqué par la figure ci-contre. La saturation résiduelle n'est pas constante derrière le front.

$$\boxed{f_1 = \frac{1 + \delta_g}{1 + \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{k_{r2}}{k_{r1}}}} \qquad (4.2.2.1.a)$$

f_1 : est la fraction volumétrique du fluide ① dans l'écoulement biphasique en un point considéré. Cette fraction ne dépend que de la saturation en ce point ;

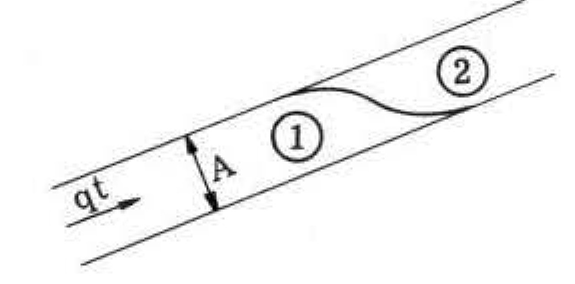
$$\boxed{\delta_g = \frac{k_{r2} . k . g\,(\rho_1 - \rho_2)\sin\alpha}{\mu_2 . V_t}} \qquad (4.2.2.1.b)$$

$$\delta_g = 0{,}84.10^{-3}\,\frac{k_{r2} . k . g\,(\rho_1 - \rho_2)\sin\alpha}{\mu_2 . V_t} \qquad (4.2.2.1.b.up)$$

δ_g : est le facteur de gravité qui s'annule si les fluides ont même densité ou si $\alpha = 0$;

$$\boxed{V_t = \frac{q_t}{A}}$$

(4.2.2.1.c)



V_t : vitesse d'injection (ou de filtration) du fluide ① ;

q_t : débit d'entrée du fluide ① conditions fond ;

A : section globale de la roche utile, normale au déplacement.

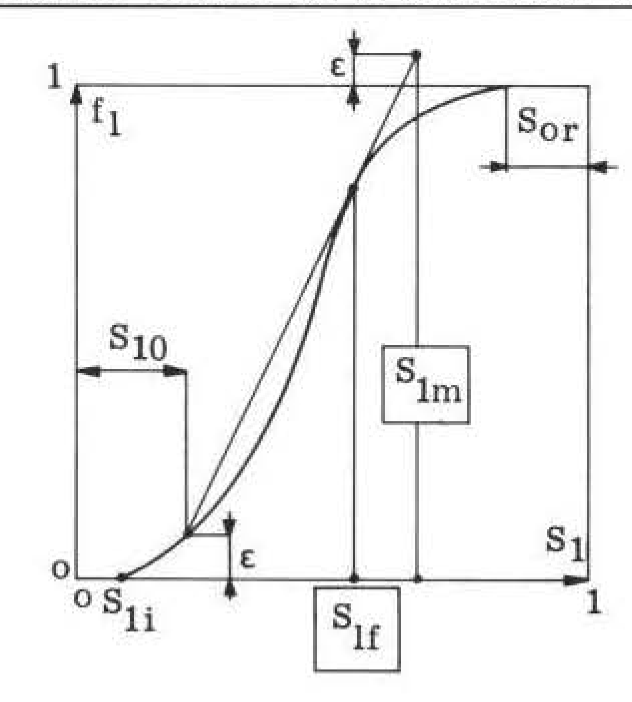
4.2.2.2. Vitesse de déplacement d'une tranche de saturation donnée

$$u = \frac{V_t}{\Phi} \cdot \frac{df_1}{dS_1} = \frac{Q_t}{A.\Phi} \cdot \frac{df_1}{dS_1} \quad (4.2.2.2)$$

u : vitesse de déplacement d'une tranche de saturation donnée S_1.

Cette vitesse ne dépend que de S_1.

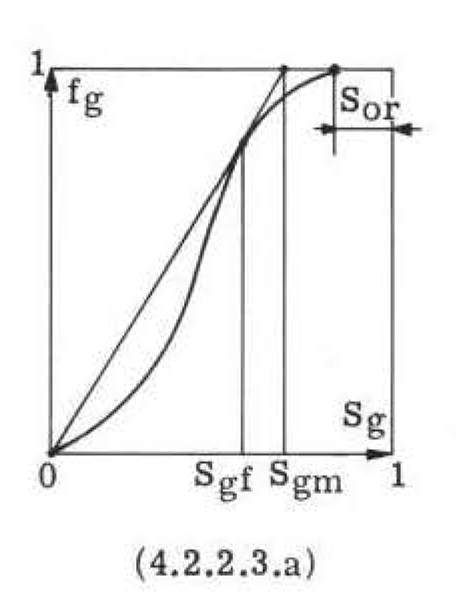
4.2.2.3. Calcul de la saturation moyenne derrière un front par la méthode graphique



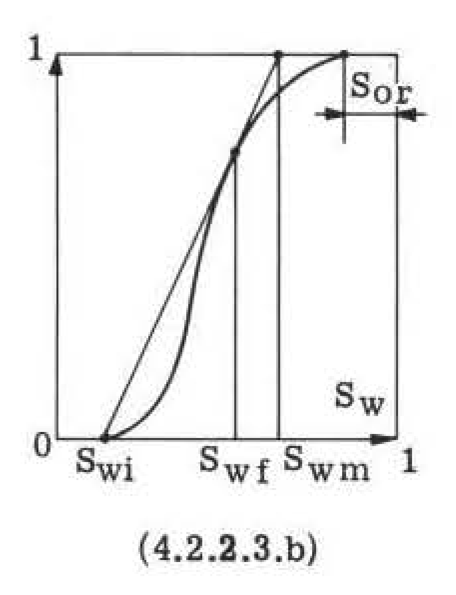
On trace la courbe $f_1 = f(S_1)$ définie par l'équation de Buckley Leverett (4.2.2.1.a). Puis on mène la tangente à cette courbe à partir d'un point d'abscisse S_{10} correspondant à la saturation en fluide devant le front (S_{10} peut être quelconque mais est généralement nul ou égal à S_{1i} saturation interstitielle irréductible).

La saturation au front S_{1f} est donnée par le point de tangence.

La saturation moyenne derrière le front S_{1m} est donnée par l'intersection de la tangente avec la droite $f_1 = 1$ augmentée de la quantité ε (fig. ci-contre).



(4.2.2.3.a)



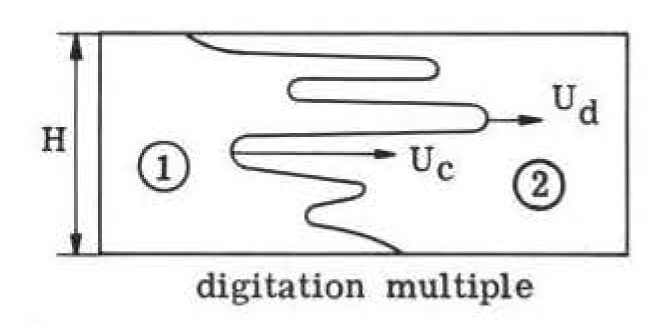
(4.2.2.3.b)

En pratique dans le cas gaz/huile la saturation en gaz devant le front S_{go} est généralement nulle d'où la construction (4.2.2.3.a).

Dans le cas eau/huile la saturation en eau devant le front S_{wo} est généralement égale à S_{wi} d'où la construction (4.2.2.3.b).

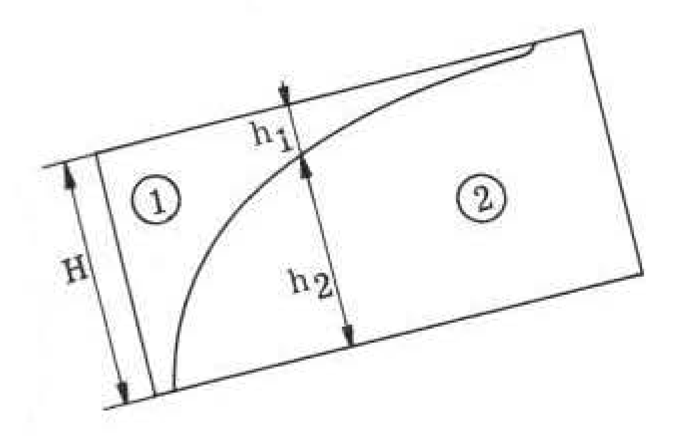
4.2.3. EVOLUTION D'UN FRONT INSTABLE - SATURATION MOYENNE DANS LA ZONE DE DIGITATION

4.2.3.1. Déplacement sans forces capillaires



digitation multiple

Dans les cas d'instabilité précédemment définis, il y a formation d'un ou plusieurs doigts. La vitesse au bout d'un doigt tend à s'accroître par rapport à celle d'un ceux u_c et le doigt s'allonge au fur et à mesure que le front avance.

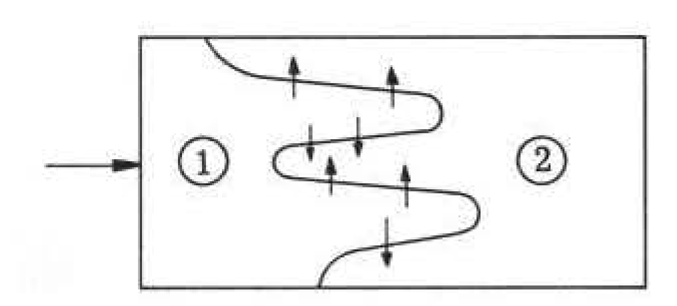


digitation unique
(Ségrégation verticale complète)

On peut admettre que dans une section droite traversant les digitations, l'espace se divise en deux zones, dans chacune desquelles l'écoulement est monophasique et proportionnel à la conductibilité C

$$C = \frac{k.h}{\mu}$$

4.2.3.2. Influence des forces capillaires



Les forces capillaires tendent à estomper les digitations et renforcent donc la stabilité du front. La vitesse d'injection peut être supérieure à la vitesse critique donnée par l'équation (4.2.1.1.b')(dans laquelle la capillarité est négligée) sans qu'il y ait réellement instabilité. On constate que lorsque les digitations ont une longueur inférieure à une certaine valeur critique, elles se déplacent en restant égales à elles-mêmes sans avoir tendance à s'allonger avec le temps.

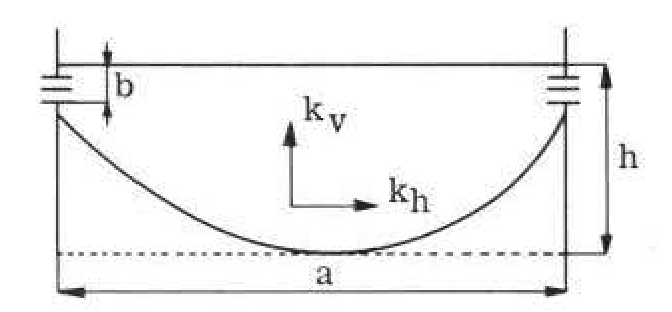
Les formules relatives au calcul des digitations avec effet de capillarité ne sont pas assez confirmées pour être citées ici (Chuoke, Van der Poel et Chaumet).

4.3. Déformation des fronts à proximité des puits producteurs (coning)

Les formules précédentes concernant les écoulements linéaires ne sont applicables qu'à distance des puits, où les lignes de courant peuvent être supposées droites et parallèles. Par contre, à proximité des puits, la distribution des potentiels et des lignes de courant a une allure radiale sphérique qui entraîne des déformations du front appelées "coning".

4.3.1. DEFORMATION VERTICALE DES FRONTS (BOTTOM WATER CONING - GAS CAP CONING)

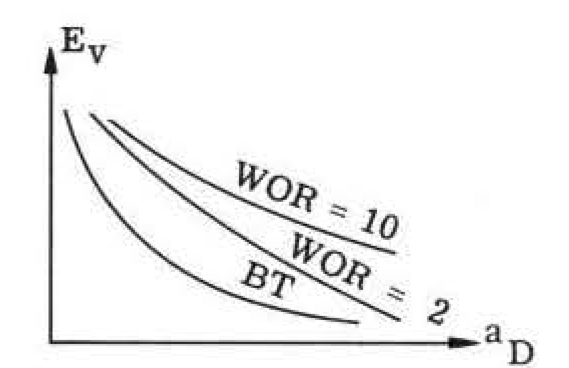
4.3.1.1. Paramètres du coning vertical



a) Le rapport $\frac{a}{h}$ entre la distance des puits et la haureur de la zone à limite, ainsi que le coefficient d'anisotropie k_v/k_h constituent les paramètres principaux de ce calcul.

$$a_D = \frac{a}{h}\sqrt{\frac{k_v}{k_h}} \qquad (4.3.1.1.a)$$

Le groupe sans dimension a_D appelé "spacing réduit" est très souvent utilisé dans les calculs (4.3.1.1.a).



L'efficacité de balayage volumétrique E_v (rapport de l'huile récupérée sur l'huile mobile initialement en place), est d'autant meilleure que a_D est faible.

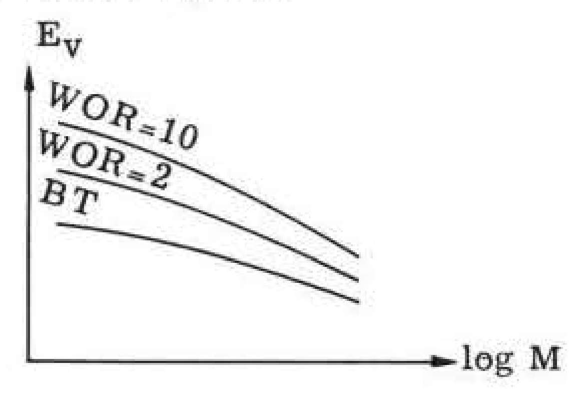
$$M = \frac{k_{r1}/\mu_1}{k_{r2}/\mu_2} \qquad (4.3.1.1.b)$$

① : fluide déplaçant

② : fluide déplacé

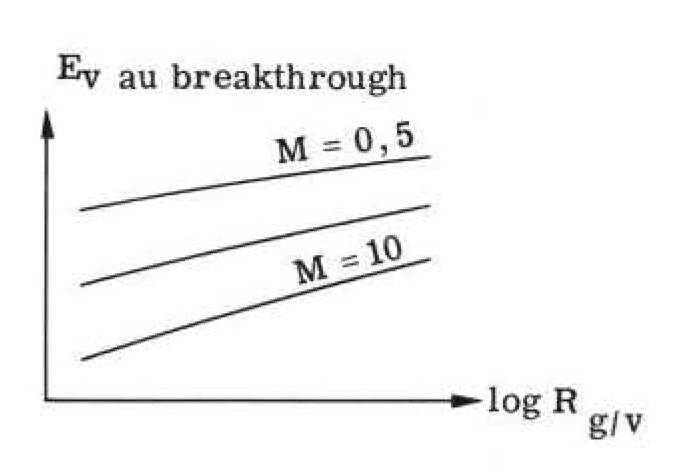
b) Le rapport de mobilité M joue ensuite le rôle le plus important.

L'efficacité de balayage augmente quand M diminue.



$$R_{g/v} = \frac{k.\Delta\rho.g}{Q_T.\mu_o} \qquad (4.3.1.1.c)$$

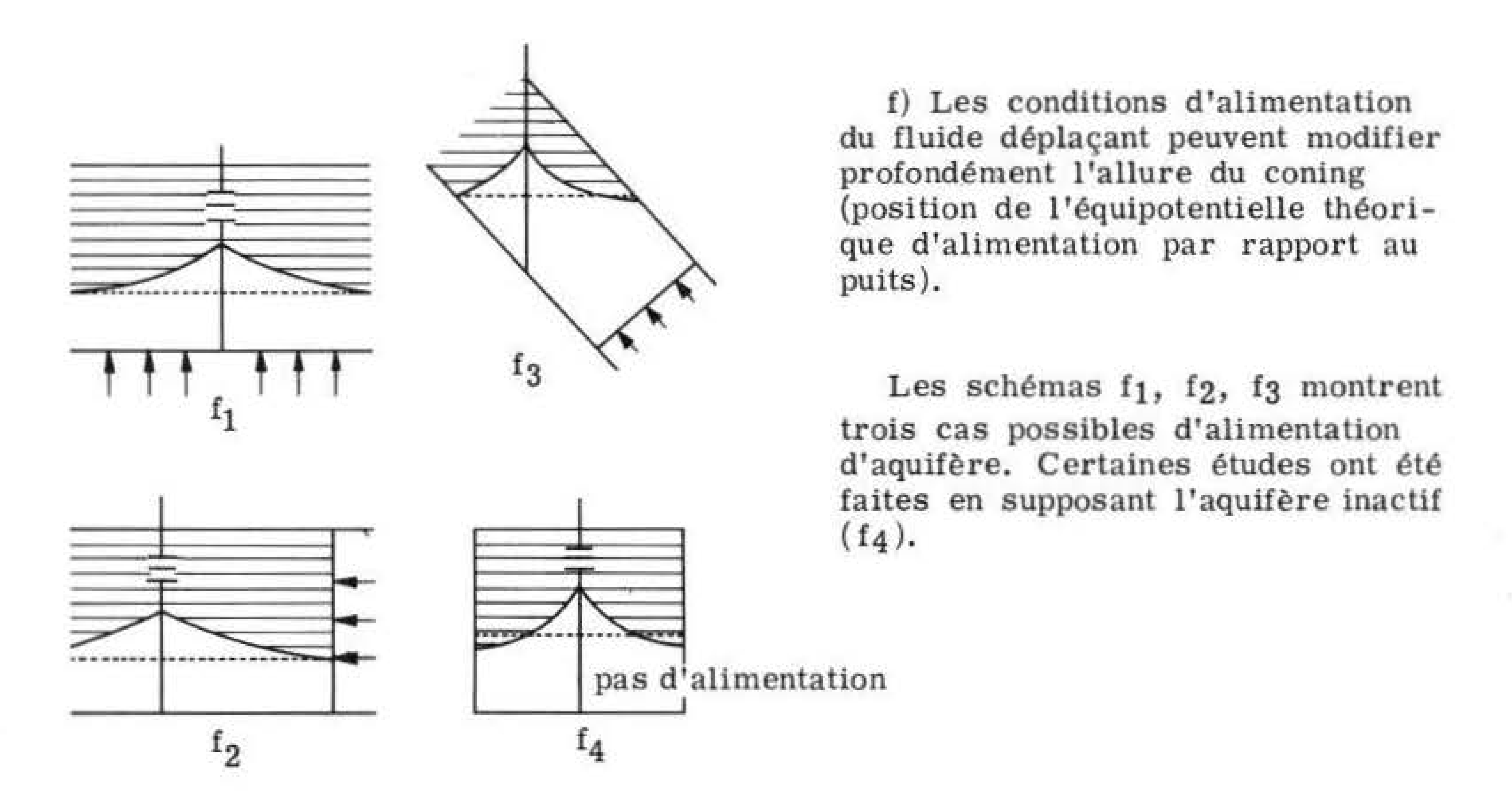
c) Les forces de gravité interviennent directement avant le break through en s'opposant à la formation du cône. Il ne semble cependant pas qu'elles jouent un rôle important dans la récupération finale après break through et elles sont très souvent négligées, ce qui revient à dire que l'on considère alors le phénomène de coning comme indépendant du débit de production.



Dans les calculs on utilise le paramètre $R_{g/v}$ qui correspond au rapport des forces de gravité sur les forces de viscosité.

d) La pénétration du puits dans la couche intervient directement sur le break through, mais ne semble pas avoir une grande influence sur la récupération finale après break through.

c) Les forces capillaires semblent généralement négligeables.

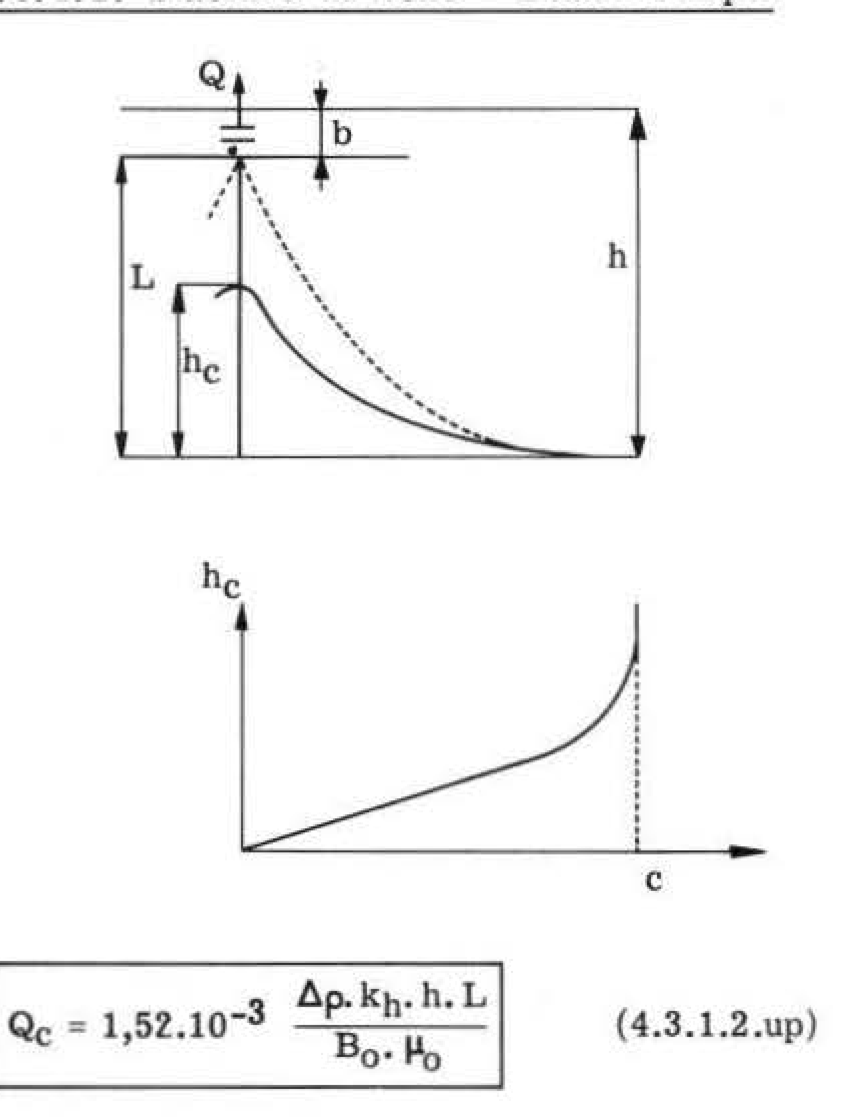


f) Les conditions d'alimentation du fluide déplaçant peuvent modifier profondément l'allure du coning (position de l'équipotentielle théorique d'alimentation par rapport au puits).

Les schémas f_1, f_2, f_3 montrent trois cas possibles d'alimentation d'aquifère. Certaines études ont été faites en supposant l'aquifère inactif (f_4).

Le grand nombre de paramètres entrant en jeu dans les problèmes de coning, et plus particulièrement l'importance des hypothèses sur les conditions aux limites, rendent très délicate l'utilisation de formules simples et générales. On s'efforcera, dans la mesure du possible, d'effectuer des simulations sur modèles analogiques ou mathématiques adaptés aux cas particuliers à traiter.

4.3.1.2. Stabilité du cône - Débit critique



Comme dans les déplacements linéaires vus précédemment, il existe un débit critique au-dessus duquel le déplacement devient instable et le cône s'effile brutalement pour faire irruption dans le puits.

La formule (4.3.1.2.up), tirée des travaux de Sobocinsky, donne la valeur de ce débit critique pour les cas de water coning. Il semble qu'elle puisse s'appliquer au gaz mais probablement pas aux problèmes plus complexes de double coning (anneau mince entre aquifère et gas cap).

$$Q_c = 1{,}52.10^{-3} \; \frac{\Delta\rho . k_h . h . L}{B_o . \mu_o} \qquad (4.3.1.2.up)$$

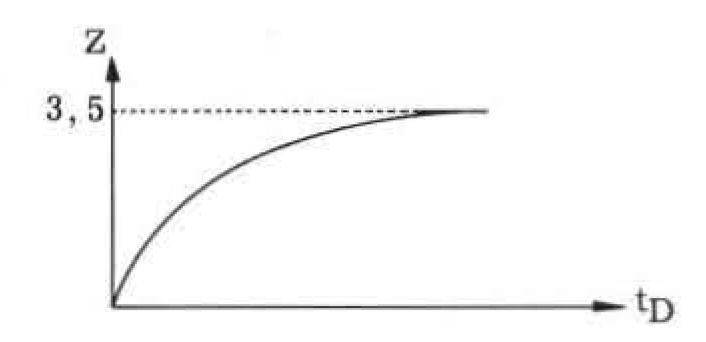
4.3.1.3. Temps mis par le cône pour atteindre les perforations

$$Z = 5{,}32.10^{-3} \frac{\Delta\rho k_h . L . h_c}{\mu_o . q_o . B_o} \quad (4.3.1.3.a. up)$$

$$t_D = 4{,}24.10^{-4} \frac{\Delta\rho . k_v (1 + \sqrt{M})\, t}{\mu_o . \phi . h} \quad (4.3.1.3.b.up)$$

Citons encore les travaux de Sobocinsky qui permettent de trouver le temps de break through à partir des paramètres sans dimension Z (hauteur réduite) et T_D (temps réduit)

(avec $M = \frac{k_{rw}}{\mu_w} . \frac{\mu_o}{k_{ro}}$)



La courbe $Z = f(t_D)$ tend vers une asymptote Z = 3,5 correspondant au débit critique précédemment défini (paragr. 4.3.1.1).

4.3.1.4. Récupération - Efficacité de balayage

$$(E_v)_{BT} = (1{,}8 - 2{,}12 \frac{b}{h}) \frac{1}{a_D^2} \quad (4.3.1.4)$$

La récupération au break through est généralement faible.

avec $a_D = \frac{a}{h}\sqrt{\frac{k_v}{k_h}}$ (rappel de 4.3.1.1.a)

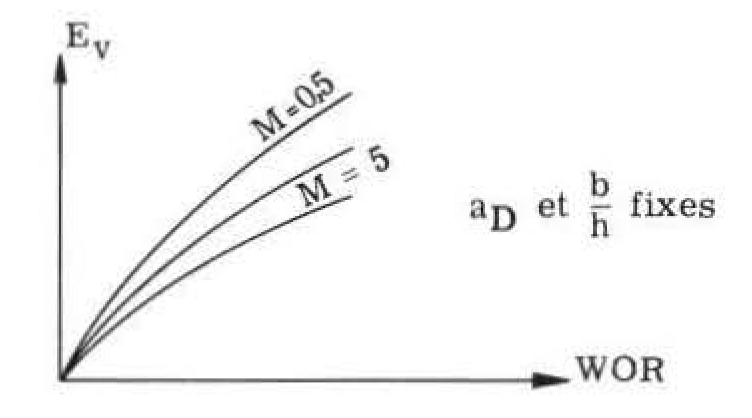
et $E_v = \frac{\text{Huile récupérée}}{\text{Huile mobile en place}}$

k_v est une valeur globale tenant compte des intercalations argileuses;

$\frac{k_v}{k_h}$ peut atteindre des valeurs de l'ordre de 100 dans les réservoirs argilo-gréseux.

La formule (4.3.1.4), tirée de Muskat, a été établie pour :

- M = 1;
- $\Delta\rho = 0$;
- aquifère non actif.

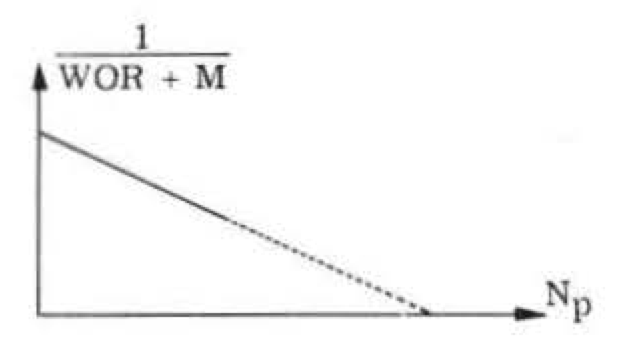


a_D et $\frac{b}{h}$ fixes

Au-delà du break through, la récupération dépend du WOR auquel on arrête la production. Hutchinson, Henley, Chiericci ont établi de nombreux abaques tirés de simulations sur modèles. En pratique, lorsqu'on ne peut utiliser ces abaques ou un modèle adapté, on se contente d'extrapoler graphiquement les courbes de WOR.

4.3.1.5. Evolution de la production d'eau sur les sondages
Extrapolation des courbes de WOR

$$\boxed{\frac{1}{WOR + M} = \alpha \cdot N_p + \beta} \qquad (4.3.1.5.a)$$



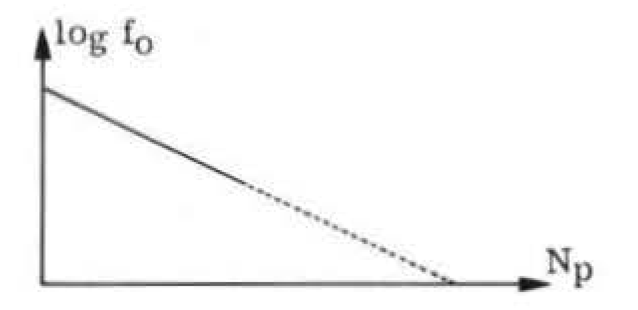
a) Pour les gisements alimentés par aquifère très actif et maintenus à une pression constante, on utilise l'équation (4.3.1.5.a).

$$WOR = \frac{Q_w}{Q_o}$$

M : rapport des mobilités ;

N_p : production cumulée d'huile.

$$\boxed{\log f_o = \alpha \cdot N_p + \beta} \qquad (4.3.1.5.b)$$



b) Pour les gisements alimentés partiellement par un aquifère peu actif, on utilise plutôt l'équation (4.3.1.5.b).

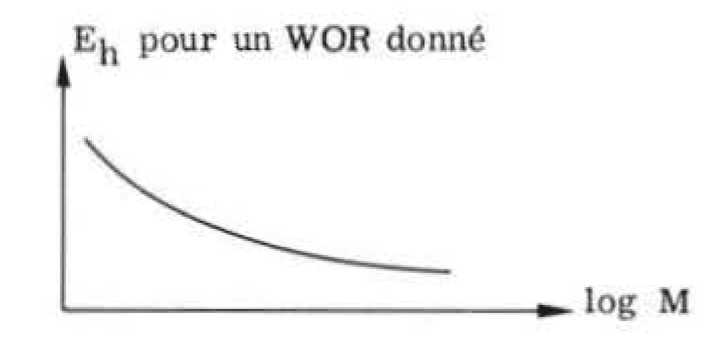
f_o : fraction d'huile dans la production.

Toutes les extrapolations sont d'autant meilleures que le WOR est élevé.

4.3.2. DEFORMATION HORIZONTALE DES FRONTS (EDGE CONING)

Chaque fois qu'un réservoir possède un pendage et une épaisseur suffisamment faibles pour que la ségrégation ne fasse pas basculer verticalement le front, on traite le problème du coning dans les deux dimensions horizontales (edge coning). Dans les autres cas, le problème est tridimensionnel et ne peut être traité que sur modèles.

4.3.2.1. Paramètres principaux de l'edge coning
Influence du schéma d'implantation des puits



Mis à part les forces de gravité qui sont négligées, les principaux paramètres sont les mêmes que dans le bottom coning. Le rapport des mobilités et la géométrie du système (pattern) jouent les rôles essentiels.

E_h : Efficacité de balayage horizontal.

5. PROBLÈMES LIÉS A L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DU MILIEU POREUX

5.1. Valeurs moyennes

Le paramètre essentiel régissant les lois d'écoulement étant la perméabilité, c'est sur lui que porteront les formules ci-dessous qui ont cependant un caractère général et peuvent s'appliquer à d'autres paramètres pétrophysiques.

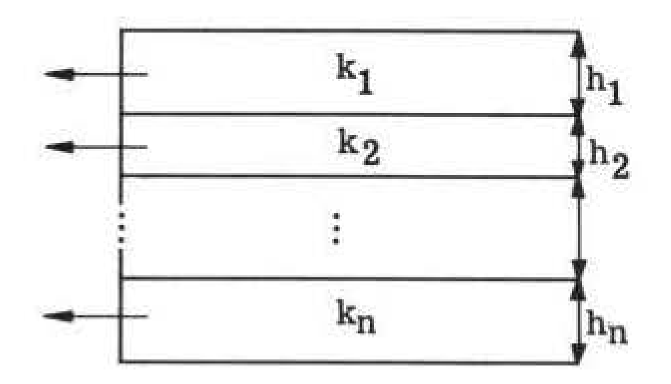
5.1.1. CALCUL DES PERMEABILITES MOYENNES

Les moyennes doivent être calculées en fonction de l'arrangement des perméabilités dans le réservoir.

5.1.1.1. Moyenne arithmétique

Correspond à des couches superposées débitant "en parallèle".

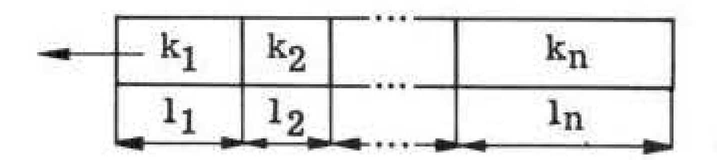
$$k_m = \frac{k_1 . h_1 + k_2 . h_2 + \ldots + k_n . h_n}{\sum h_i} \qquad (5.1.1.1.)$$



5.1.1.2. Moyenne harmonique

Correspond à des blocs juxtaposés débitant en "série".

$$\frac{\sum l_i}{k_m} = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + \ldots + \frac{l_n}{k_n} \qquad (5.1.1.2)$$



La moyenne harmonique est généralement inférieure à la moyenne arithmétique.

5.1.1.3. Moyenne géométrique

$$\log k_m . \sum h_i = h_1 . \log k_1 + h_2 . \log k_2 + ... + h_n . \log k_n \quad (5.1.1.3.a)$$

soit :

$$k_m^{\Sigma h_1} = k_1^{h_1} : k_2^{h_2} ... k_n^{h_n} \quad (5.1.1.3.b)$$

Correspond à un désordre géométrique total dans toutes les directions. La moyenne géométrique est en général en très bon accord avec la perméabilité globale tirée de l'interprétation des essais de production.

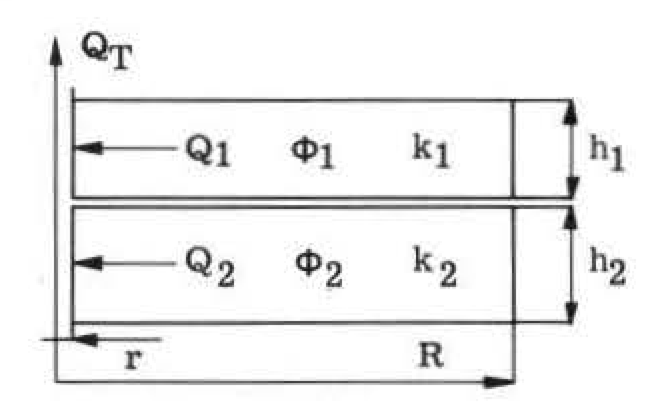
et si $h_1 = h_2 = ... = h_n$, on obtient :

$$k_m = \sqrt{k_1 . k_2 ... k_n}$$

5.2. Influence des hétérogénéités verticales sur les écoulements monophasiques

La complexité des problèmes d'hétérogénéité verticale rend généralement nécessaire l'utilisation de modèles mathématiques ou analogiques à plusieurs nappes. Cependant, le cas assez fréquent des bicouches non communicantes et fermées sur leur limite de drainage, peut faire l'objet de formulations relativement simples.

5.2.1. COMPORTEMENT QUALITATIF DES BICOUCHES NON COMMUNICANTES

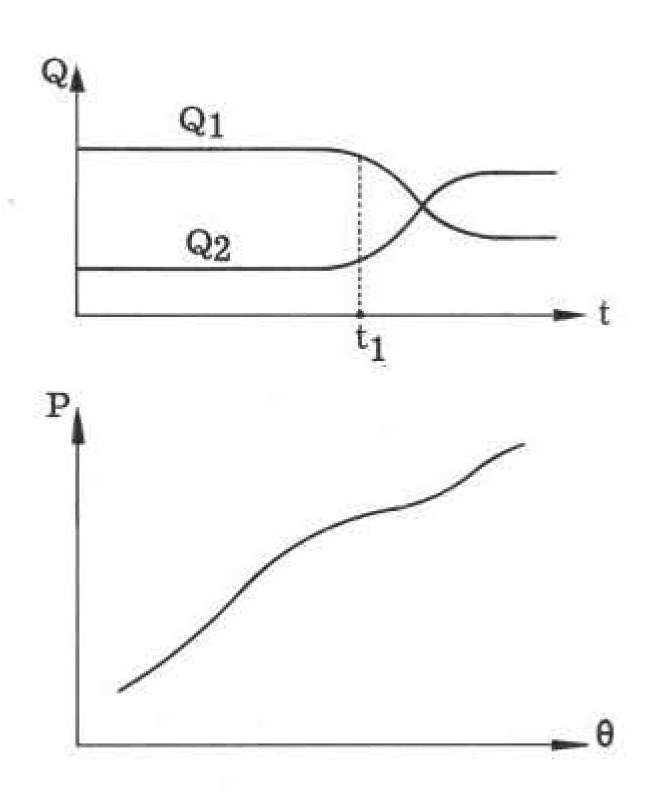


a) Le débit total Q_T restant constant, la répartition des débits Q_1 et Q_2 se fait sensiblement au prorata des k.h pendant la période transitoire, puis devient proportionnelle au rapport des réserves ϕ.h, lorsque les limites sont atteintes (pseudo-permanent).

$$\text{. en transitoire } \frac{Q_1}{Q_2} \# \frac{k_1 . h_1}{k_2 . h_2}$$

$$\text{. en permanent } \frac{Q_1}{Q_2} \# \frac{\phi_1 . h_1}{\phi_2 . h_2} \quad (5.2.1.a)$$

b) Le temps t_1 au bout duquel le régime pseudo-permanent est atteint est très nettement supérieur au temps d'établissement du même régime dans la monocouche équivalente.



(5.2.1.b)

La figure 5.2.1.b correspond au cas :

$$k_1.h_1 > k_2.h_2$$
$$\phi_1.h_1 < \phi_2.h_2$$

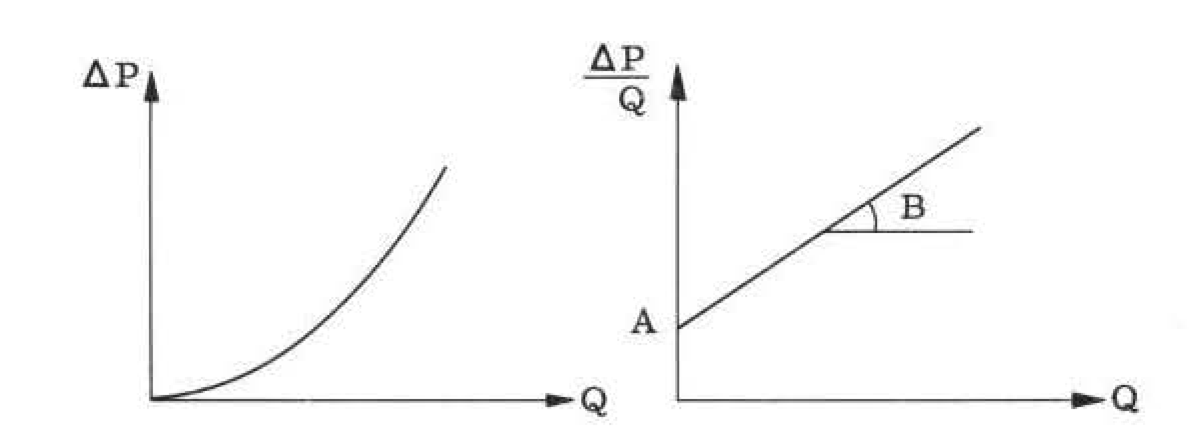
c) Lorsque l'on ferme le puits, après un temps de production assez long, la couche de plus faible k.h, qui est la moins décomprimée, continue à débiter de façon à rétablir l'équilibre de pression dans l'ensemble du système. Ceci perturbe l'allure des courbes de remontée de pression qui ont l'allure ci-contre.

d) Si l'une ou les deux couches sont colmatées, l'effet de paroi se manifeste sur toute la durée de la remontée de pression.

5.3. Réservoirs fissurés

5.3.1. ECOULEMENT MONOPHASIQUE PERMANENT EN MILIEU FISSURE

5.3.1.1. Loi générale



On constate en général que le débit des puits produisant dans des réservoirs très fissurés n'est pas proportionnel au ΔP et que la loi d'écoulement est de la forme (5.3.1.1.a).

$$\boxed{\Delta P = AQ + BQ^2} \qquad (5.3.1.1.a)$$

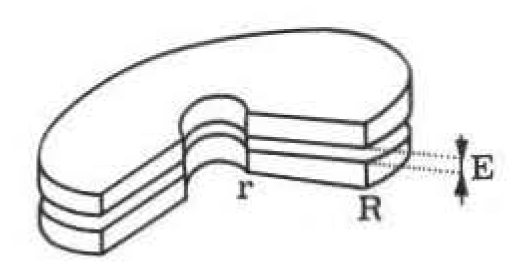
5.3.1.2. Ecoulement laminaire dans une fissure horizontale

$$\boxed{\Delta P = \frac{6}{\pi} \cdot \frac{B.\mu.Q}{E^3} \, L_e \frac{R}{r}} \qquad (5.3.1.2)$$

En écoulement laminaire (faibles vitesses) le terme BQ^2 de l'équation (5.3.1.1) devient nul.

$$\Delta P = 5{,}1.10^{-4} \, \frac{B.\mu.Q}{E^3} \, \mathrm{l}_{10} \, \frac{R}{r} \qquad (5.3.1.2.up)$$

(E en mm)

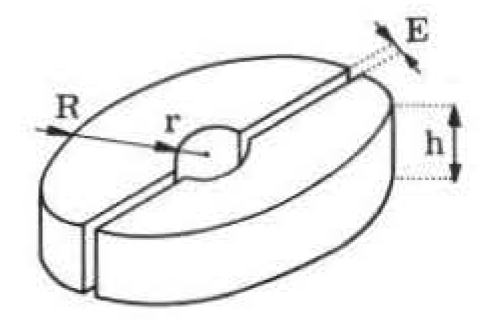


5.3.1.3. Ecoulement laminaire dans une fissure verticale

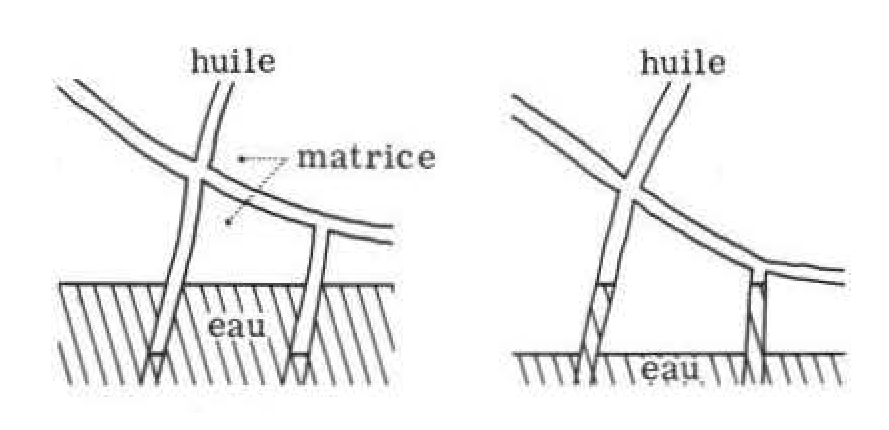
$$\boxed{\Delta P = \frac{24 \, B.\mu.Q \, (R - r)}{h.E^3}} \qquad (5.3.1.3)$$

$$\Delta P = 27{,}8.10^{-4} \, \frac{B.\mu.(R - r).Q}{h.E^3} \qquad (5.3.1.3.up)$$

(E en mm - R, r et h en mètres)



5.3.2. PHENOMENE D'IMBIBITION



Au repos, l'eau s'élève dans la matrice plus haut que dans les fissures sous l'effet des forces capillaires.

Au contraire, en régime dynamique, si l'on soutire l'huile à une vitesse suffisante, le contact huile-eau est plus haut dans les fissures.

Lorsqu'un bloc matriciel est by-passé par l'eau, une partie de l'huile qu'il contient peut être chassée du bloc par l'effet des forces capillaires (imbibition) et rejoindre les zones supérieures du réservoir par ségrégation dans les fissures.

Ce phénomène est lent. La récupération r en fonction de l'huile siégée dans le bloc a la forme de la courbe ci-contre.

6. COMPORTEMENT GLOBAL DES GISEMENTS

6.1. Expansion des aquifères. Entrée d'eau dans les gisements

Lorsqu'un aquifère est suffisamment puissant pour assurer un water drive parfait, c'est-à-dire maintenir la pression du gisement quel que soit le régime d'exploitation, les entrées d'eau sont égales aux volumes soutirés et n'ont donc pas à être calculées.

Par contre, lorsque le water drive est partiel, l'estimation des entrées d'eau est indispensable à l'établissement du bilan volumétrique du gisement.

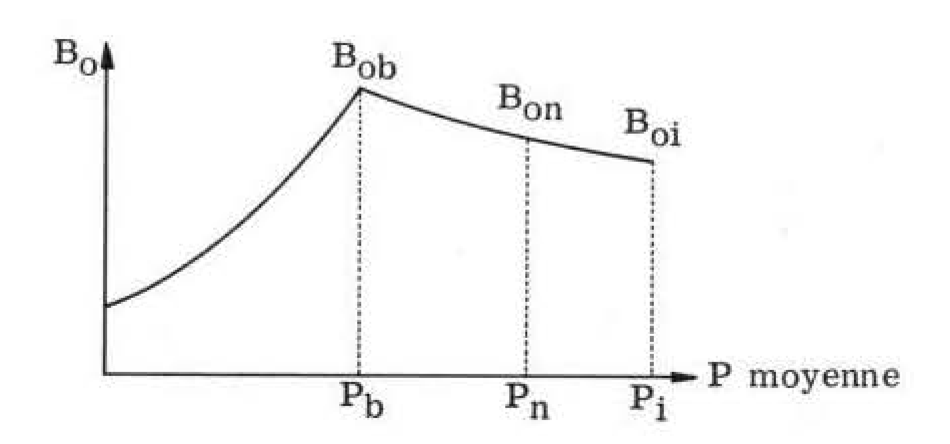
6.2. Bilan volumétrique d'un gisement d'huile sous saturée

6.2.1. EQUATION GENERALE

$$\boxed{N.B_{oi} = (N - N_p)\, B_{on} + W'_{en}} \qquad (6.2.1.a)$$

$$\boxed{W'_{en} = W_e - W_p . B_w + W_I . B_w} \qquad (6.2.1.b)$$

W'_{en} : entrée d'eau nette.



6.2.2. BILAN EXPRIME EN FONCTION DE LA COMPRESSIBILITE

6.2.2.1. Equation de bilan

$$\boxed{N.c_e (P_i - P_n)\, B_{oi} = N_{pn} . B_{on} - W'_{en}} \qquad (6.2.2.1.a)$$

c_e est la compressibilité "effective" ou "apparente" de l'huile, définie au paragraphe 2.4.3.2.

$$\boxed{C_e = \frac{c_o . S_o + c_w . S_w + c_r}{S_o}} \qquad (6.2.2.1.b)$$

6.3. Bilan volumétrique des gisements de gaz

6.3.1. EQUATION GENERALE

$$G_{pn} . B_{gn} = G\,(B_{gn} - B_{gi}) + W'_e \qquad (6.3.1.a)$$

$$W'_e = W_e - W_p . B_w + W_I . B_w \qquad (6.3.1.b)$$

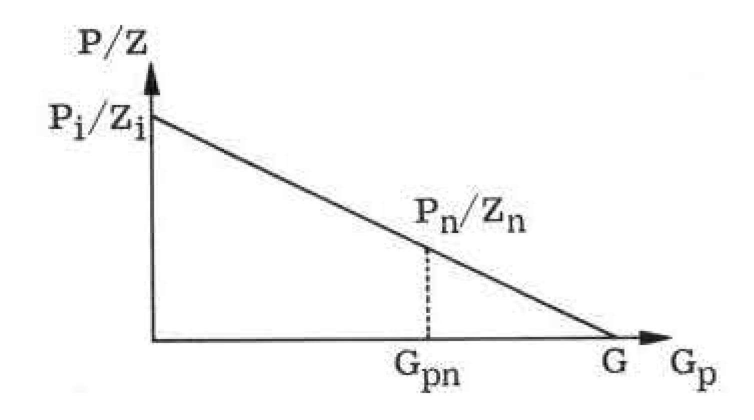
6.3.2. CAS DU GISEMENT FERME

$$G_{pn} = G - \frac{G . Z_i}{P_i} . \frac{P_n}{Z_n} \qquad (6.3.2)$$

Dans le cas où il n'y a pas de water drive, on peut remplacer B_g par sa valeur (voir paragraphe 2.1.6)

$$B_g = \frac{P_{st}}{T_{kst}} . \frac{Z . T_k}{P}$$

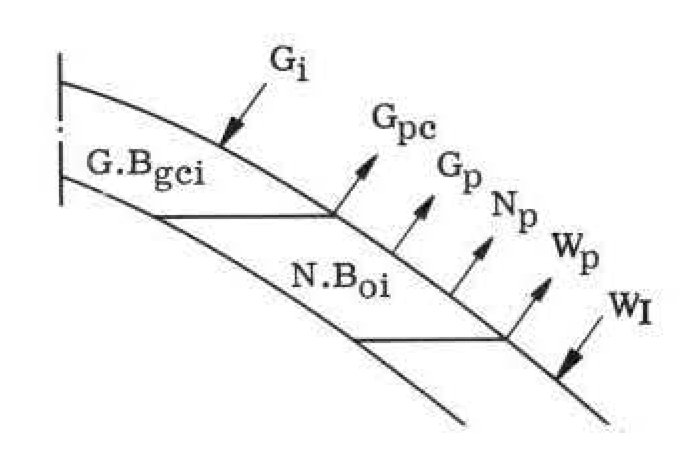
La production de gaz exprimé en conditions standard est inversement proportionnelle au groupe P/Z



6.4. Bilan volumétrique d'un gisement d'huile saturée

6.4.1. EQUATIONS PRINCIPALES

6.4.1.1. Equation de bilan



Expansion de l'huile + Expansion nette du gaz cap + Entrée d'eau nette = Soutirage

$$N\left[B_{oi} - B_o - B_g (R_{si} - R_s)\right] + G_e + W'_e = N_p\left[B_g . R_s - B_o\right] - G_p . B_g \qquad (6.4.1.1.a)$$

$$G_e = G.B_{gci} - (G - G_{pc})\, B_{gc} + G_I . B_{gI} \qquad (6.4.1.1.b)$$

$$W'_e = W_e + W_I . B_w - W_p . B_w \qquad (6.4.1.1.c)$$

$$G_p = \sum_{j=1}^{j=n} R_j . \Delta N_{pj} \qquad (6.4.1.1.d)$$

Rappel

- l'indice g se rapporte au gaz de la zone à huile ;
- l'indice gc se rapporte au gaz du gas cap ;
- l'indice I se rapporte aux volumes injectés ;
- W_e et G_e sont exprimés en conditions de fond.

6.4.1.2. Evolution du G.O.R.

$$\overline{R}_j = \frac{\Delta G_p}{\Delta N_p} = R_{sj} + \frac{k_{rg}}{k_{ro}} \cdot \frac{\mu_o}{\mu_g} \cdot \frac{B_o}{B_g} \qquad (6.4.1.2)$$

Le rapport $\frac{k_{rg}}{k_{ro}}$ est donné par les courbes de perméabilité relative en fonction de S_g.

6.4.2.2. Evolution de la production d'huile

$$\Delta N_p = IP_j \cdot \Delta P \cdot n_j \qquad (6.4.2.2.a)$$

$$IP_j = IP_i \frac{k_{roj}}{k_{roi}} \cdot \frac{\mu_{oi}}{\mu_{oj}} \cdot \frac{B_{oi}}{B_{oj}} \qquad (6.4.2.2.b)$$

Cette équation est utilisée pour faire des calculs de prévision en supposant par exemple un ΔP de production constant.

n_j est le nombre de puits restant en production au step j (c'est-à-dire non balayés par le gaz ou l'eau).

6.5. Extrapolation arbitraire des courbes de production d'huile

6.5.1. PRINCIPAUX TYPES D'EXTRAPOLATION

Lorsque le mécanisme de drainage est très mal connu et qu'aucune méthode rationnelle ne peut être valablement utilisée, on se contente souvent d'une extrapolation arbitraire des courbes de production.

Les deux principaux types de déclin du débit d'huile sont :

a) Le déclin exponentiel pour lequel le taux de déclin du débit est constant

$$\alpha = -\frac{dQ/dt}{Q} = C^{te}$$

(α varie en général de 5 %/an à 20 %/an)

b) Le déclin hyperbolique pour lequel le taux de déclin du débit est fonction du débit lui-même.

$$\alpha = -\frac{dQ/dt}{Q} = K \cdot Q^n$$

(n pouvant varier de 0 à 1)

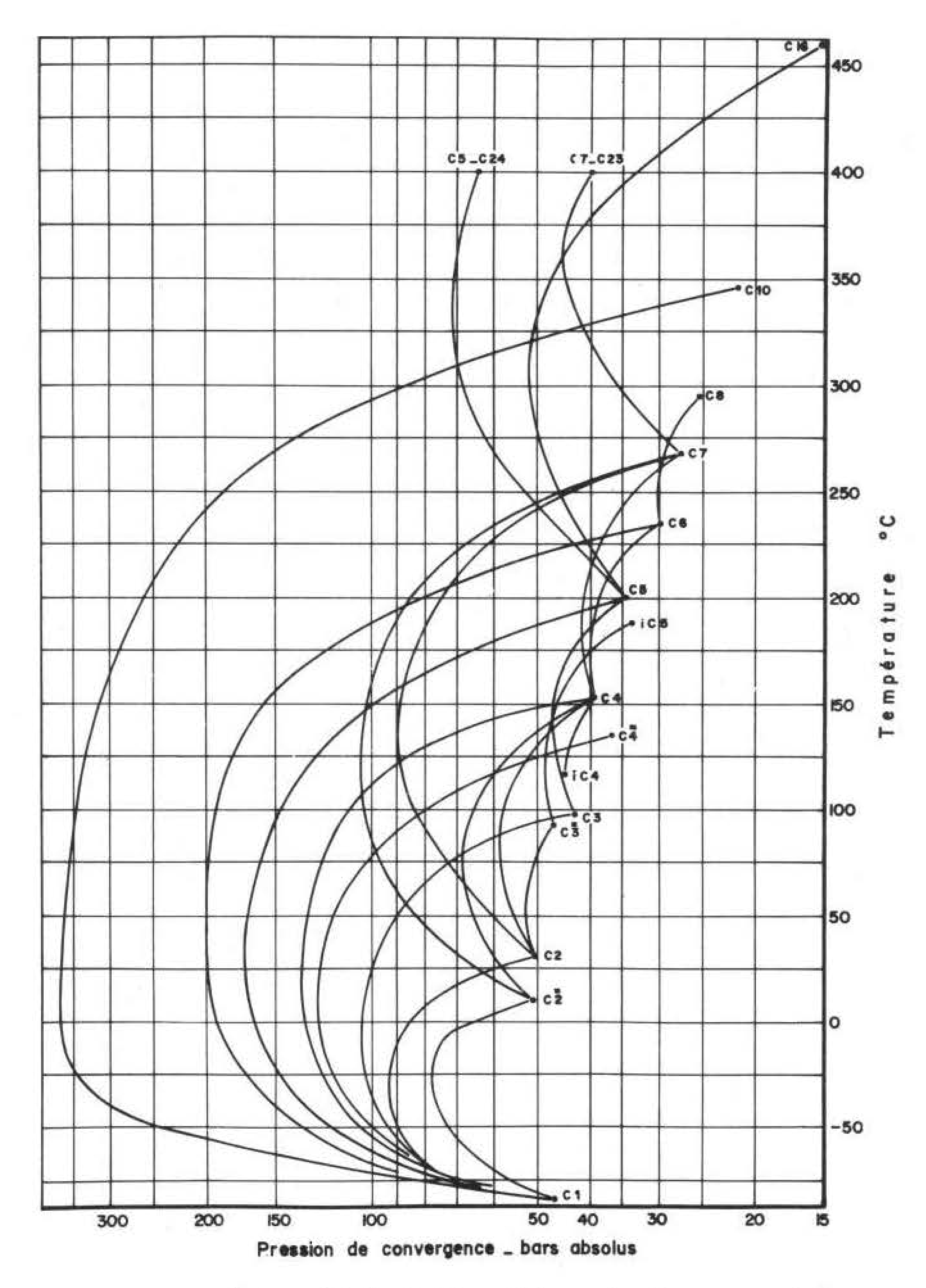
(n est généralement compris entre 0 et 0,5 - pour n = 0, on retombe dans le cas précédent, pour n = 1, le déclin est dit harmonique, mais c'est un cas extrêmement rare en pratique).

c) Pour les gisements produisant avec water coning (voir plutôt paragraphe 4.3.1.5)

6.5.2. FORMULES

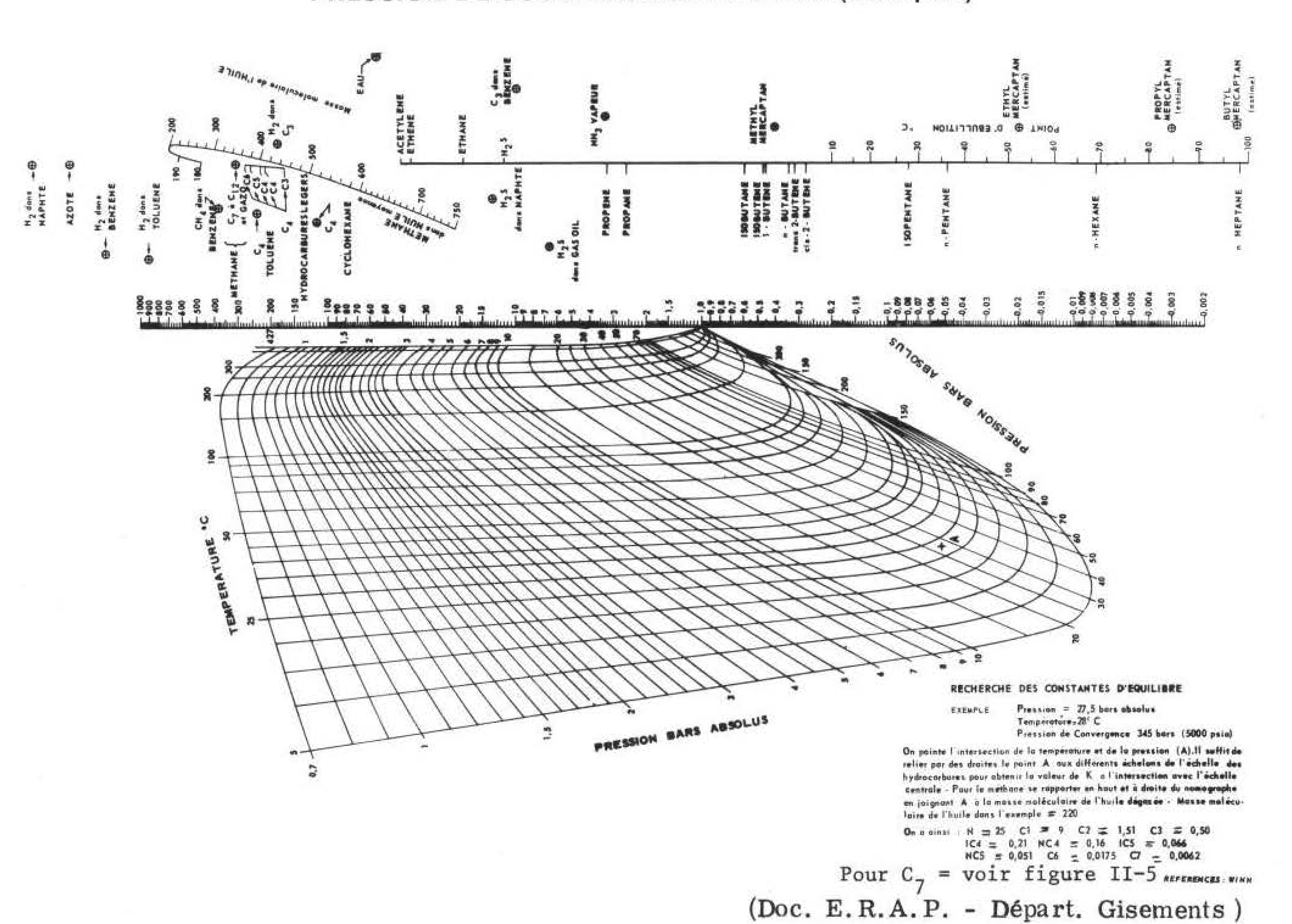
	Déclin exponentiel	Déclin hyperbolique
Loi d'évolution du débit	$Q_t = Q_i \cdot e^{-\alpha t}$	$Q_t = Q_i \, (1 + n \cdot \alpha_i \cdot t)^{-\frac{1}{n}}$
Loi d'évolution de la production cumulée	$N_{pt} = \frac{Q_i - Q_t}{\alpha}$	$N_{pt} = \frac{Q_i^n}{(1-n)\alpha_i} (Q_i^{1-n} - Q_t^{1-n})$

Fig. II.1. — PRESSION DE CONVERGENCE DES SYSTÈMES BINAIRES (D'après Winn)



(Doc. E.R.A.P. - Départ. Gisements)

Fig. II.2. — CONSTANTES D'ÉQUILIBRE LIQUIDE-VAPEUR. DIAGRAMME DE WINN
PRESSION DE CONVERGENCE : 345 bars (5000 psia)



Pour C_7 = voir figure II-5

(Doc. E.R.A.P. - Départ. Gisements)

Fig. II.3. — FACTEUR DE COMPRESSIBILITÉ DES GAZ EN FONCTION DE LA PRESSION ET DE LA TEMPÉRATURE PSEUDO-RÉDUITES
(D'après Brown, Katz, Oberfell et Alden)
Natural Gasoline and the Volatile Hydrocarbons

PRESSION PSEUDO REDUITE, Pr
0 1 2 3 4 5 6 7 8

Temperature Pseudo réduite

FACTEUR DE COMPRESSIBILITE, Z
1,1 1,0 0,9 0,8 0,7 0,6 0,5 0,4 0,3 0,25 1,1 1,0 0,9

FACTEUR DE COMPRESSIBILITE, Z
1,1 1,0 0,95 1,7 1,6 1,5 1,4 1,3 1,2 1,1 1,0 0,9

7 8 9 10 11 12 13 14 15
PRESSION PSEUDO REDUITE, Pr

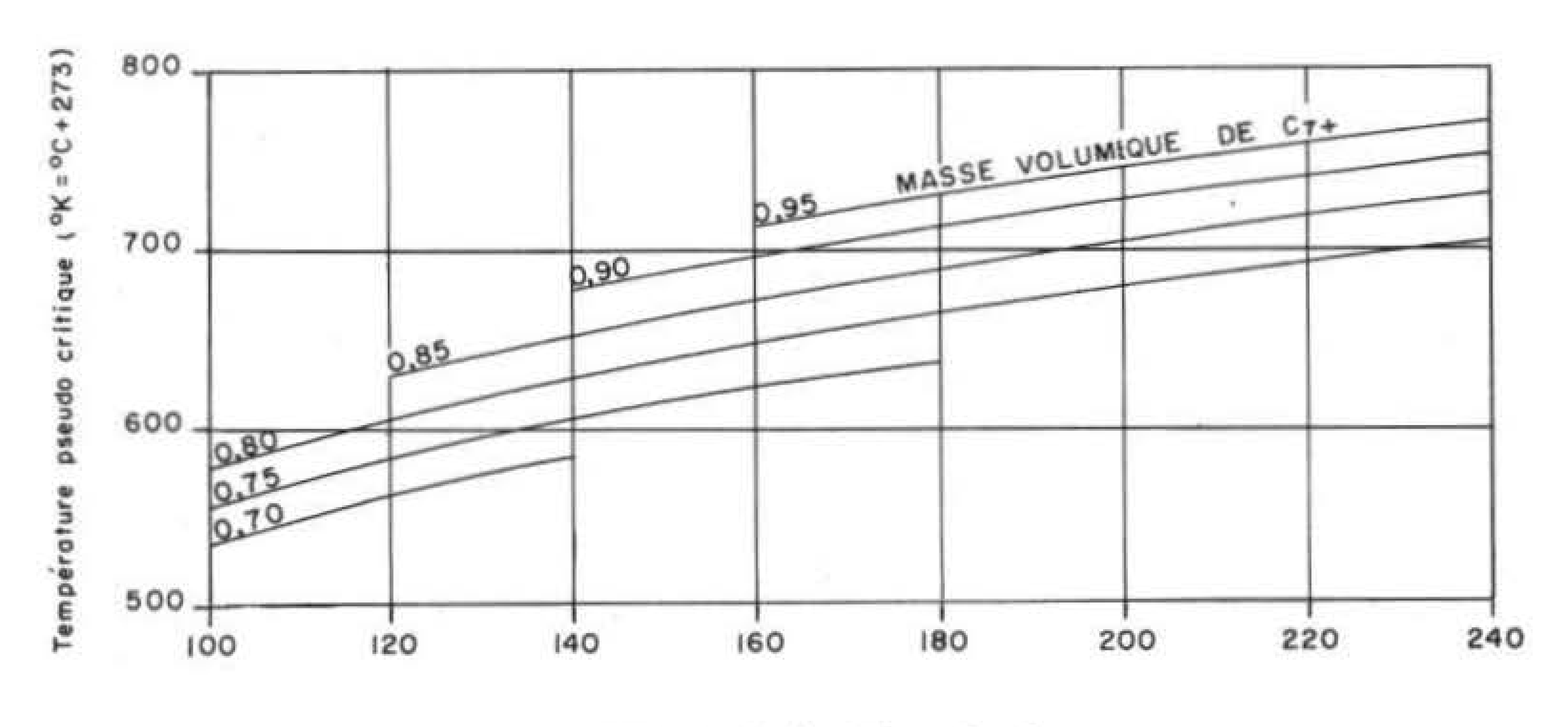
Fig. II.4. — CONSTANTES PHYSIQUES DES HYDROCARBURES ET AUTRES COMPOSANTS

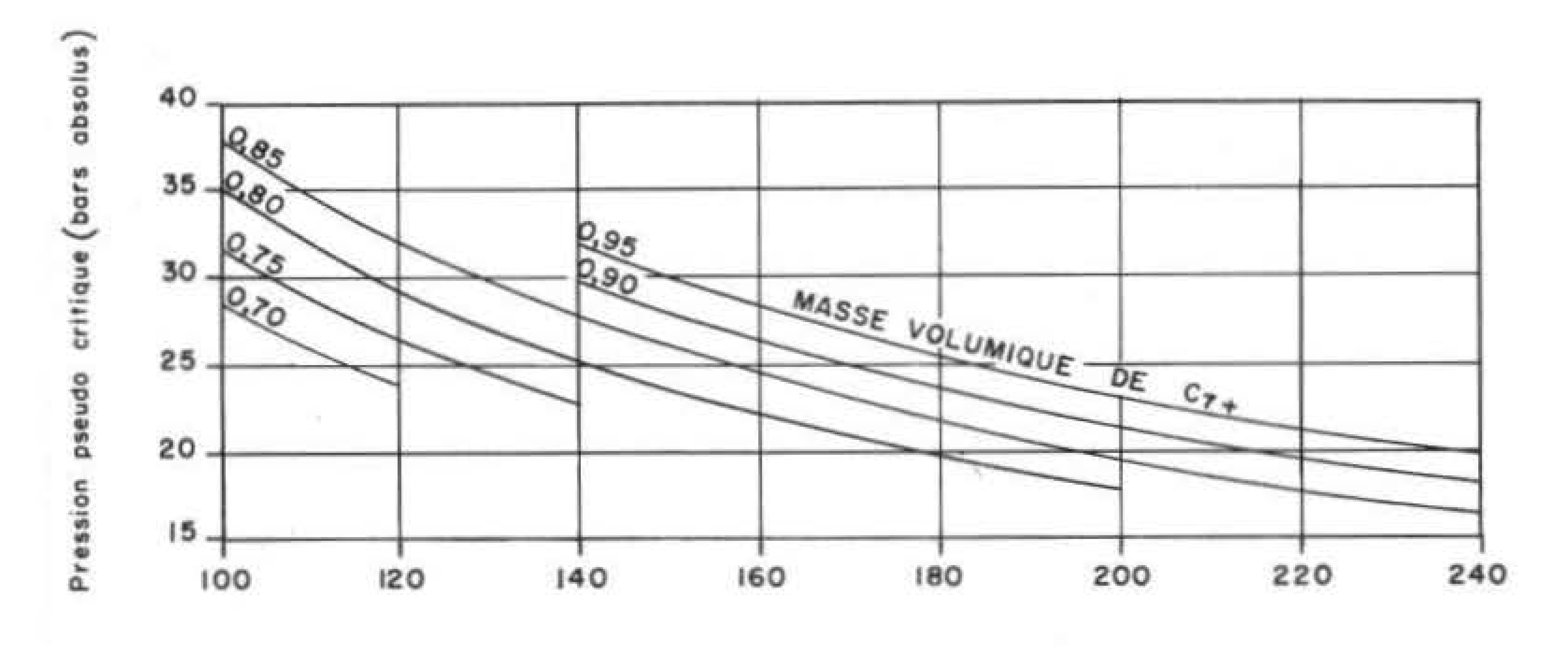
Symbole	Masse moléculaire	Point d'ébullition à 1 atm (°K)	Constantes critiques			Caractéristiques du liquide à 15°C et 1 atm	Caractéristiques du gaz à 15°C et 1 atm	
			Pression absolue (bars)	Température absolue (°K)	Volume massique (cm^3/g)	Densité (15°C/15°C)	Densité/air* (d air = 1)c	Volume massique (cm^3/g)
C 1	16,042	111,8	46,41	191,2	6,186	0,3 (a)	0,554	1 472,8
C 2	30,068	184,7	48,94	305,7	4,919	0,377 (b)	1,038	785,8
C 3	44,094	231,3	42,57	370,1	4,545	0,508 (b)	1,522	535,9
IC 4	58,120	261,6	36,48	408,3	4,520	0,563 (b)	2,006	406,6
nC 4	58,120	272,8	37,97	425,3	4,382	0,584 (b)	2,006	406,6
IC 5	72,146	301,2	33,30	460,7	4,276	0,625	2,491	327,5
nC 5	72,146	309,4	33,75	469,7	4,307	0,631	2,491	327,5
C 6	86,172	342,1	20,34	507,8	4,276	0,664	2,975	274,2
C 7	100,198	371,8	27,36	540,3	4,257	0,688	3,459	235,8
C 8	114,224	399,0	24,97	568,7	4,257	0,707	3,943	206,9
C 9	128,250	424,1	22,89	594,7	4,239	0,722	4,428	184,2
C10	142,276	447,4	20,96	617,7	4,239	0,734	4,913	166,1
C11	156,302	469,2	20,00	639,4	4,183	0,744		
C12	170,328	489,6	18,75	658,3	4,164	0,753		
C13	184,354	508,8	17,72	676,1	4,158	0,760		
CO	28,010	81,3	34,96	133,3	3,321	0,801 (c)	0,967	843,5
CO 2	44,010	194,8	73,84	304,3	2,141	0,827 (b)	1,519	536,8
H2S	34,076	213,7	90,05	373,7	2,878	0,79	1,176	693,4
SO 2	64,060	263,3	78,81	430,8	1,898	1,397	2,212	368,8
Air	28,966	79,1	37,72	132,6	2,227	0,856 (c)	1,000	815,7
H 2	2,016	20,6	12,97	33,4	32,205	0,07 (c)	0,070	11 719,2
O 2	32,000	90,3	50,75	154,9	2,341	1,14 (c)	1,105	738,4
N 2	28,016	77,5	33,92	126,3	3,209	0,808 (c)	0,967	843,3
H20	18,016	373,3	221,18	647,5	3,121	1,000	0,622	

(a) Densité apparente dans une huile brute moyenne
(b) Propriété du liquide à 15°C et à la pression de bulle
(c) Masse spécifique à 1 atm et à la température d'ébullition.

*Pour obtenir la masse volumique du gaz, multiplier par $1{,}226 . 10^{-3}$ qui est la masse volumique de l'air à 1 atm et 15°C.

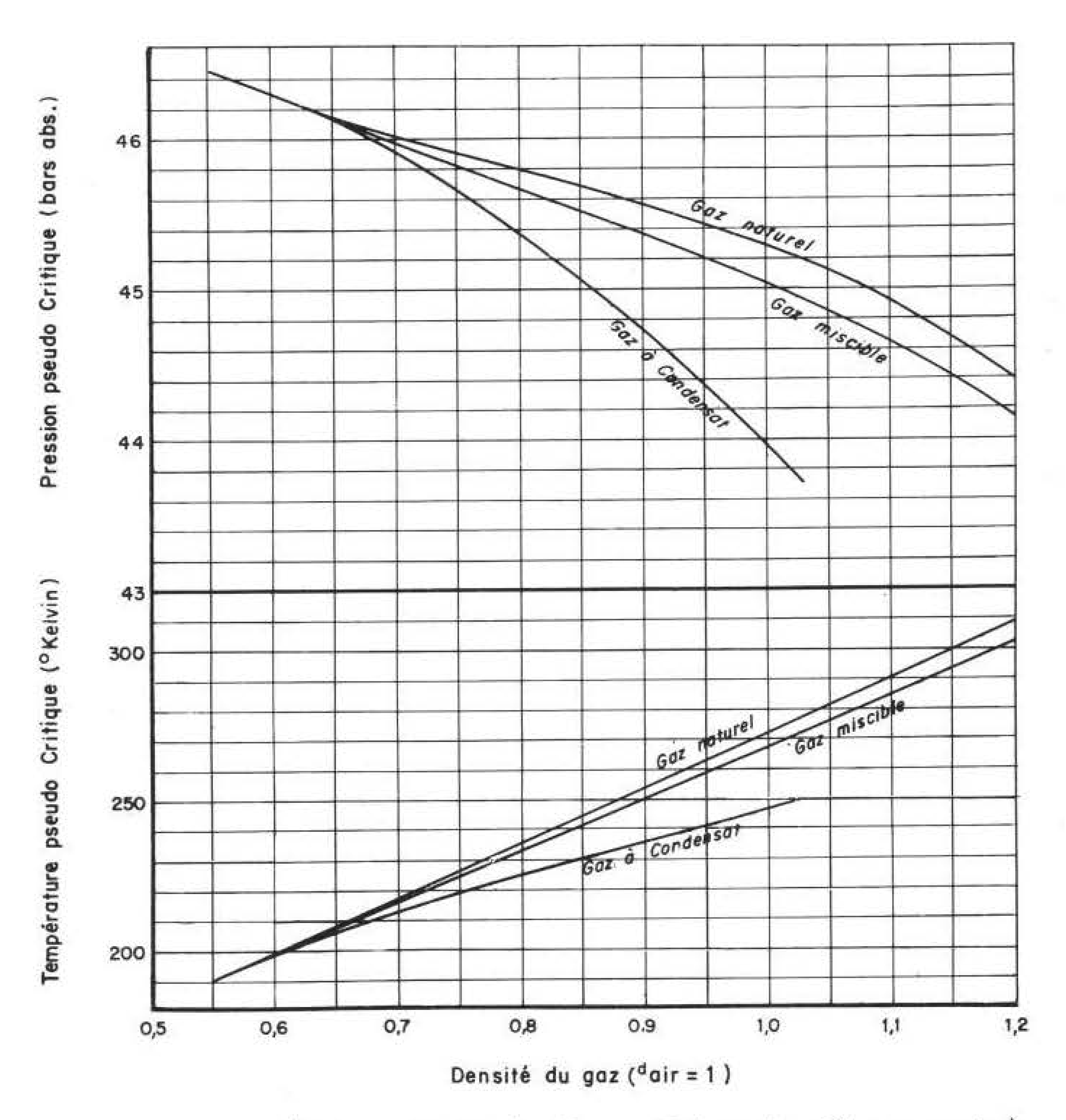
Fig. II.5. — PRESSION ET TEMPÉRATURE PSEUDO-CRITIQUES DES COMPOSANTS C_{7+}. (D'après Mathews, Roland et Katz)
Petroleum Refiner 21,58 1942





(Doc. E.R.A.P. - Départ. Gisements)

Fig. II.6. — CONSTANTES PSEUDO-CRITIQUES DES GAZ EN FONCTION DE LEUR DENSITÉ
(D'après Brown, Katz, Oberfell et Alden)



(Doc. E.R.A.P. - Départ. Gisements)

Fig. II.7. — VISCOSITÉ D'UN GAZ (D'après Standing et Katz)

Graphique I

dg, DENSITE DU GAZ/AIR

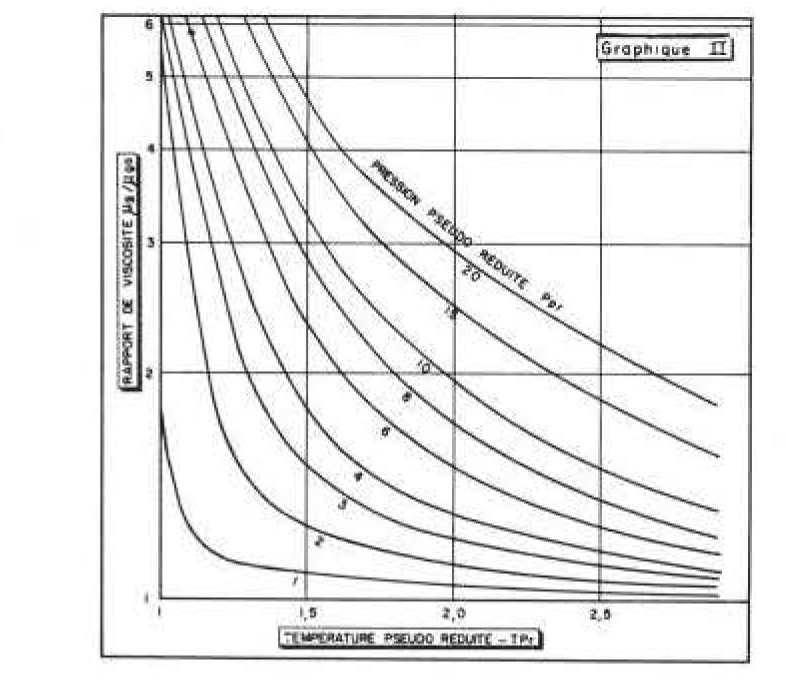
M, MASSE MOLAIRE DU COMPLEXE GAZEUX

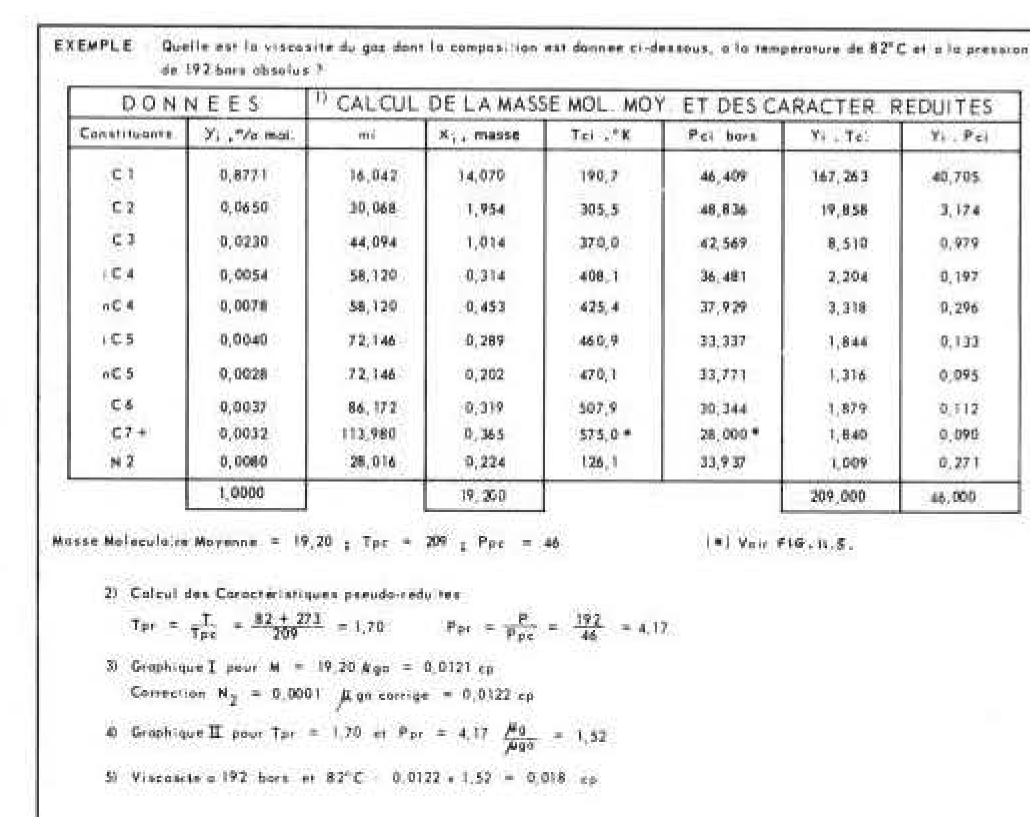
μga VISCOSITE DU GAZ A LA PRESSION ATMOSPHERIQUE (cp)

CO_2 — Correction à additionner à la viscosité (cp) — % CO_2

N_2 — Correction à additionner à la viscosité (cp) — % N_2

H_2S — Correction à additionner à la viscosité (cp) — % H_2S





EXEMPLE Quelle est la viscosite du gaz dont la composition est donnee ci-dessous, a la temperature de 82°C et a la pression de 192 bars absolus ?

DONNEES		1) CALCUL DE LA MASSE MOL. MOY. ET DES CARACTER. REDUITES					
Constituants	y_i, °/o mol.	mi	x_i, masse	Tci, °K	Pci bars	Yi . Tci	Yi . Pci
C 1	0,8771	16,042	14,070	190,7	46,409	167,263	40,705
C 2	0,0650	30,068	1,954	305,5	48,836	19,858	3,174
C 3	0,0230	44,094	1,014	370,0	42,569	8,510	0,979
i C 4	0,0054	58,120	0,314	408,1	36,481	2,204	0,197
n C 4	0,0078	58,120	0,453	425,4	37,929	3,318	0,296
i C 5	0,0040	72,146	0,289	460,9	33,337	1,844	0,133
n C 5	0,0028	72,146	0,202	470,1	33,771	1,316	0,095
C 6	0,0037	86,172	0,319	507,9	30,344	1,879	0,112
C 7 +	0,0032	113,980	0,365	575,0 *	28,000 *	1,840	0,090
N 2	0,0080	28,016	0,224	126,1	33,937	1,009	0,271
	1,0000		19,200			209,000	46,000

Masse Moleculaire Moyenne = 19,20 ; Tpc = 209 ; Ppc = 46

(*) Voir FIG. II.5.

2) Calcul des Caractéristiques pseudo-reduites

$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} = \frac{82 + 273}{209} = 1,70$ $P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}} = \frac{192}{46} = 4,17$

3) Graphique I pour M = 19,20 μ_{ga} = 0,0121 cp

Correction N_2 = 0,0001 μ_{ga} corrige = 0,0122 cp

4) Graphique II pour Tpr = 1,70 et Ppr = 4,17 $\frac{\mu_g}{\mu_{ga}} = 1,52$

5) Viscosite a 192 bars et 82°C : 0,0122 × 1,52 = 0,018 cp

(Doc. E.R.A.P. - Départ. Gisements)

Fig. II.8. — FACTEUR VOLUMÉTRIQUE DE L'HUILE SATURÉE (D'après Standing)

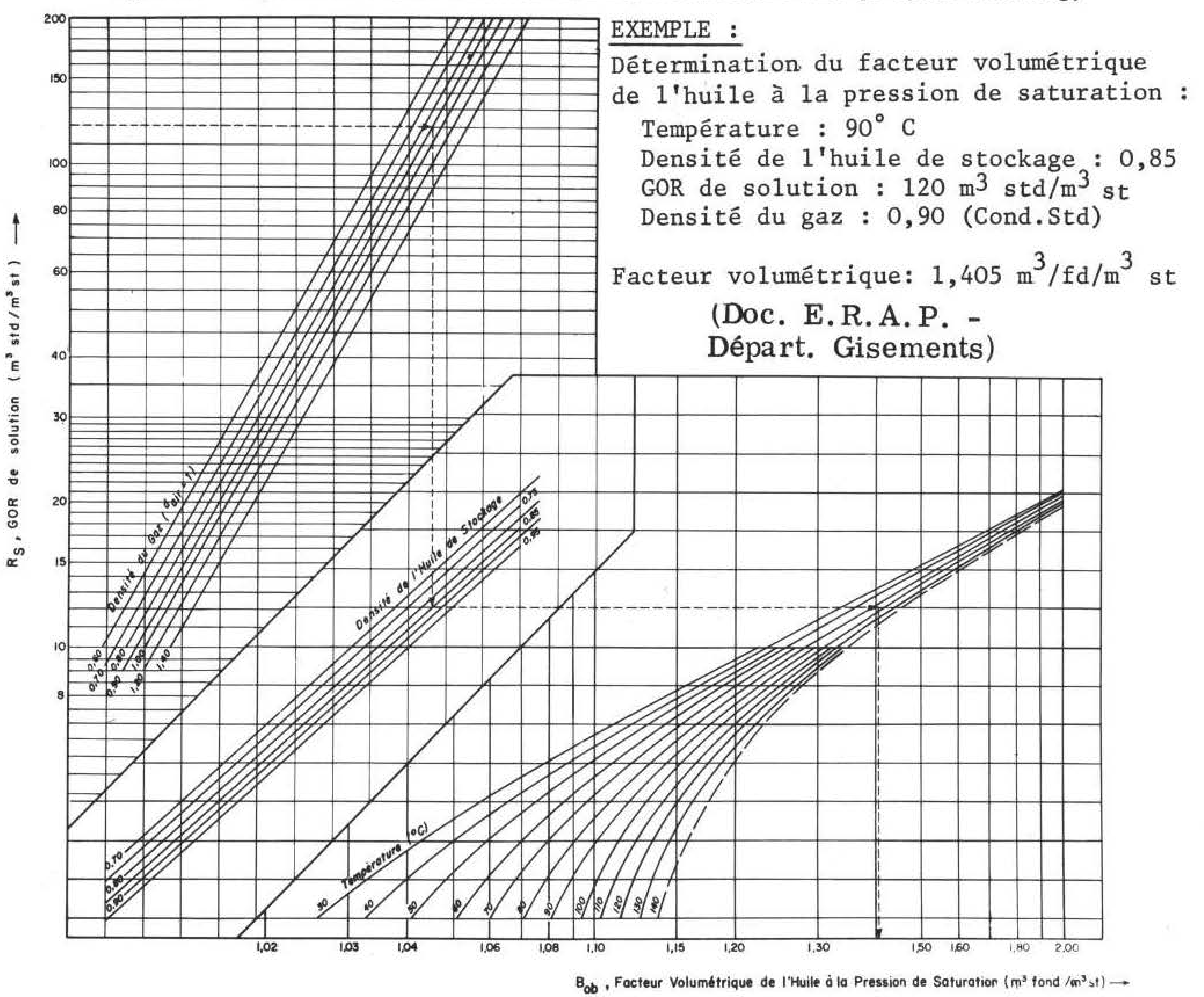
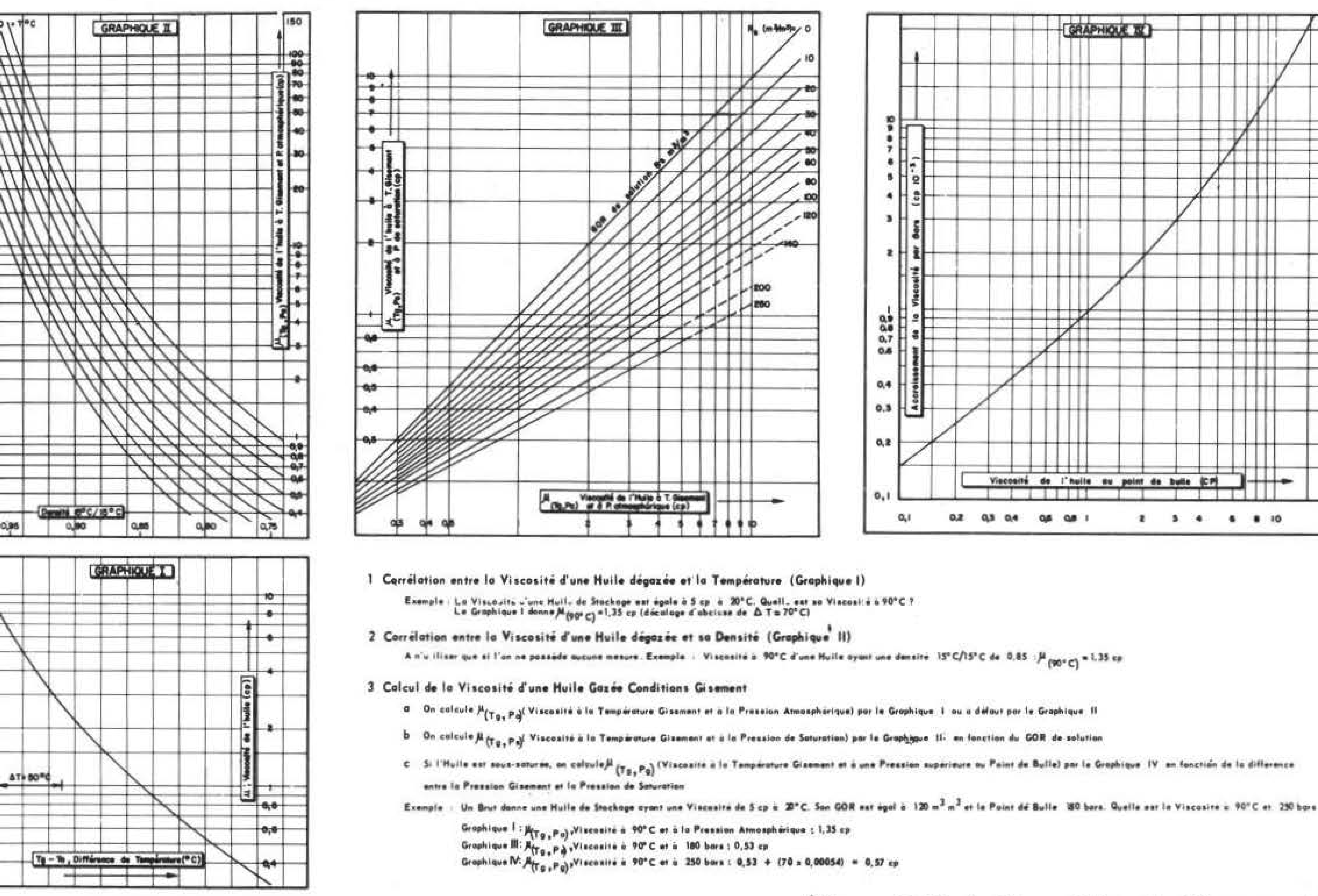


Fig. II.9. — VISCOSITÉ D'UNE HUILE BRUTE
(D'après Lewis, Squires, Beal Nelson, Chew et Conally)



1 Corrélation entre la Viscosité d'une Huile dégazée et la Température (Graphique I)

Exemple : La Viscosité d'une Huile de Stockage est égale à 5 cp à 20°C. Quelle est sa Viscosité à 90°C ?
Le Graphique I donne $\mu_{(90°C)}$ = 1,35 cp (décalage d'abcisse de ΔT = 70°C)

2 Corrélation entre la Viscosité d'une Huile dégazée et sa Densité (Graphique II)

A n'utiliser que si l'on ne possède aucune mesure. Exemple : Viscosité à 90°C d'une Huile ayant une densité 15°C/15°C de 0,85 : $\mu_{(90°C)}$ = 1,35 cp

3 Calcul de la Viscosité d'une Huile Gazée Conditions Gisement

a On calcule $\mu_{(Tg,Pa)}$ (Viscosité à la Température Gisement et à la Pression Atmosphérique) par le Graphique I ou à défaut par le Graphique II

b On calcule $\mu_{(Tg,Ps)}$ (Viscosité à la Température Gisement et à la Pression de Saturation) par le Graphique III en fonction du GOR de solution

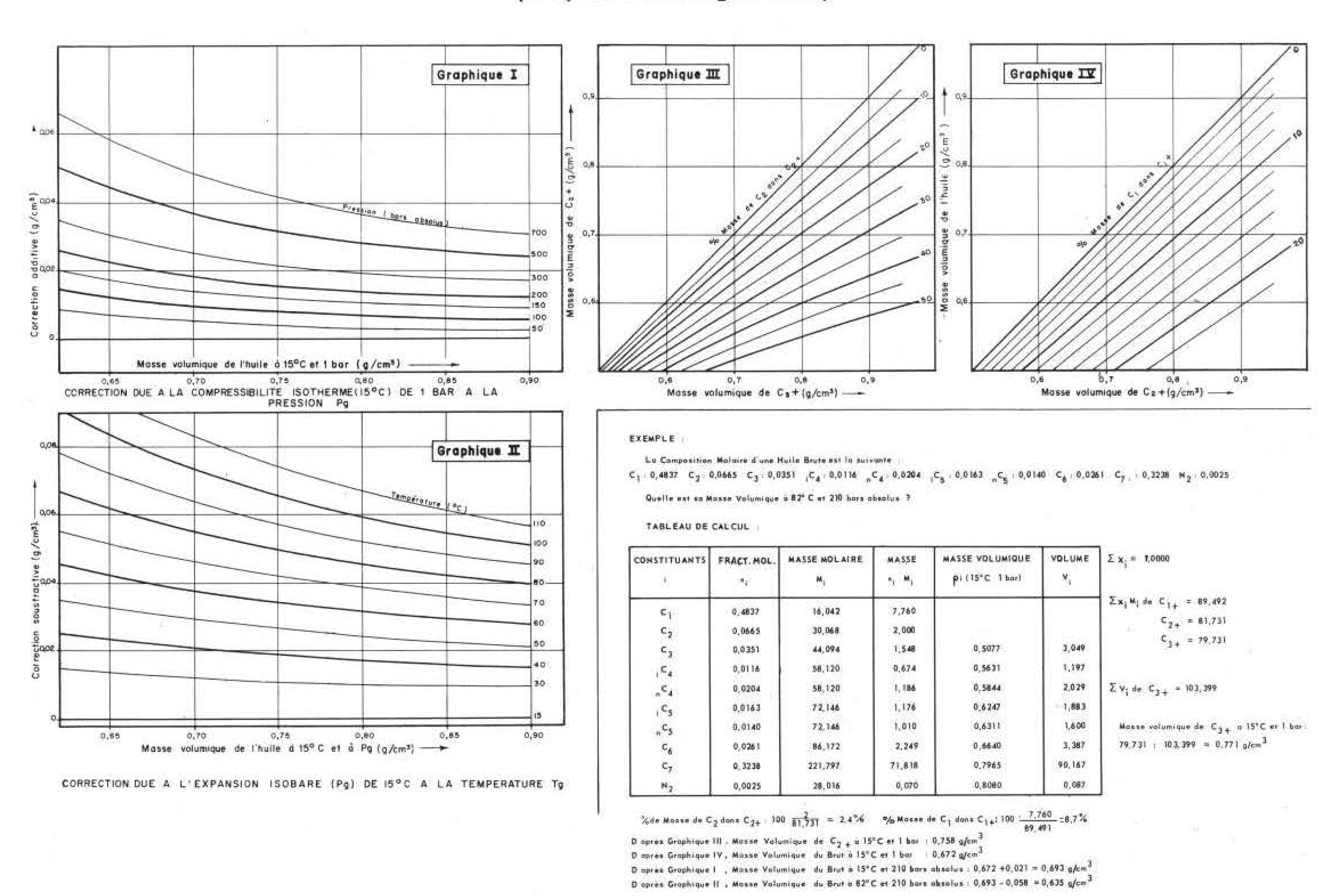
c Si l'Huile est sous-saturée, on calcule $\mu_{(Tg,Pg)}$ (Viscosité à la Température Gisement et à une Pression supérieure au Point de Bulle) par le Graphique IV en fonction de la différence entre la Pression Gisement et la Pression de Saturation

Exemple : Un Brut donne une Huile de Stockage ayant une Viscosité de 5 cp à 20°C. Son GOR est égal à 120 m³/m³ et le Point de Bulle 180 bars. Quelle est la Viscosité à 90°C et 250 bars

Graphique I : $\mu_{(Tg,Pa)}$, Viscosité à 90°C et à la Pression Atmosphérique : 1,35 cp
Graphique III : $\mu_{(Tg,Ps)}$, Viscosité à 90°C et à 180 bars : 0,53 cp
Graphique IV : $\mu_{(Tg,Pg)}$, Viscosité à 90°C et à 250 bars : 0,53 + (70 x 0,00054) = 0,57 cp

(Doc. E.R.A.P. - Départ. Gisements)

Fig. II.10. — MASSE VOLUMIQUE D'UNE HUILE BRUTE (A PARTIR ANALYSE MOLÉCULAIRE) (D'après Standing et Katz)



EXEMPLE :

La Composition Molaire d'une Huile Brute est la suivante :

C_1 : 0,4837 C_2 : 0,0665 C_3 : 0,0351 ${}_iC_4$: 0,0116 ${}_nC_4$: 0,0204 ${}_iC_5$: 0,0163 ${}_nC_5$: 0,0140 C_6 : 0,0261 C_{7+} : 0,3238 N_2 : 0,0025

Quelle est sa Masse Volumique à 82° C et 210 bars absolus ?

TABLEAU DE CALCUL :

CONSTITUANTS i	FRACT. MOL. x_i	MASSE MOLAIRE M_i	MASSE x_i M_i	MASSE VOLUMIQUE ρ_i (15°C 1 bar)	VOLUME V_i
C_1	0,4837	16,042	7,760		
C_2	0,0665	30,068	2,000		
C_3	0,0351	44,094	1,548	0,5077	3,049
${}_iC_4$	0,0116	58,120	0,674	0,5631	1,197
${}_nC_4$	0,0204	58,120	1,186	0,5844	2,029
${}_iC_5$	0,0163	72,146	1,176	0,6247	1,883
${}_nC_5$	0,0140	72,146	1,010	0,6311	1,600
C_6	0,0261	86,172	2,249	0,6640	3,387
C_7	0,3238	221,797	71,818	0,7965	90,167
N_2	0,0025	28,016	0,070	0,8080	0,087

Σx_i = 1,0000

$\Sigma x_i M_i$ de C_{1+} = 89,492
C_{2+} = 81,731
C_{3+} = 79,731

ΣV_i de C_{3+} = 103,399

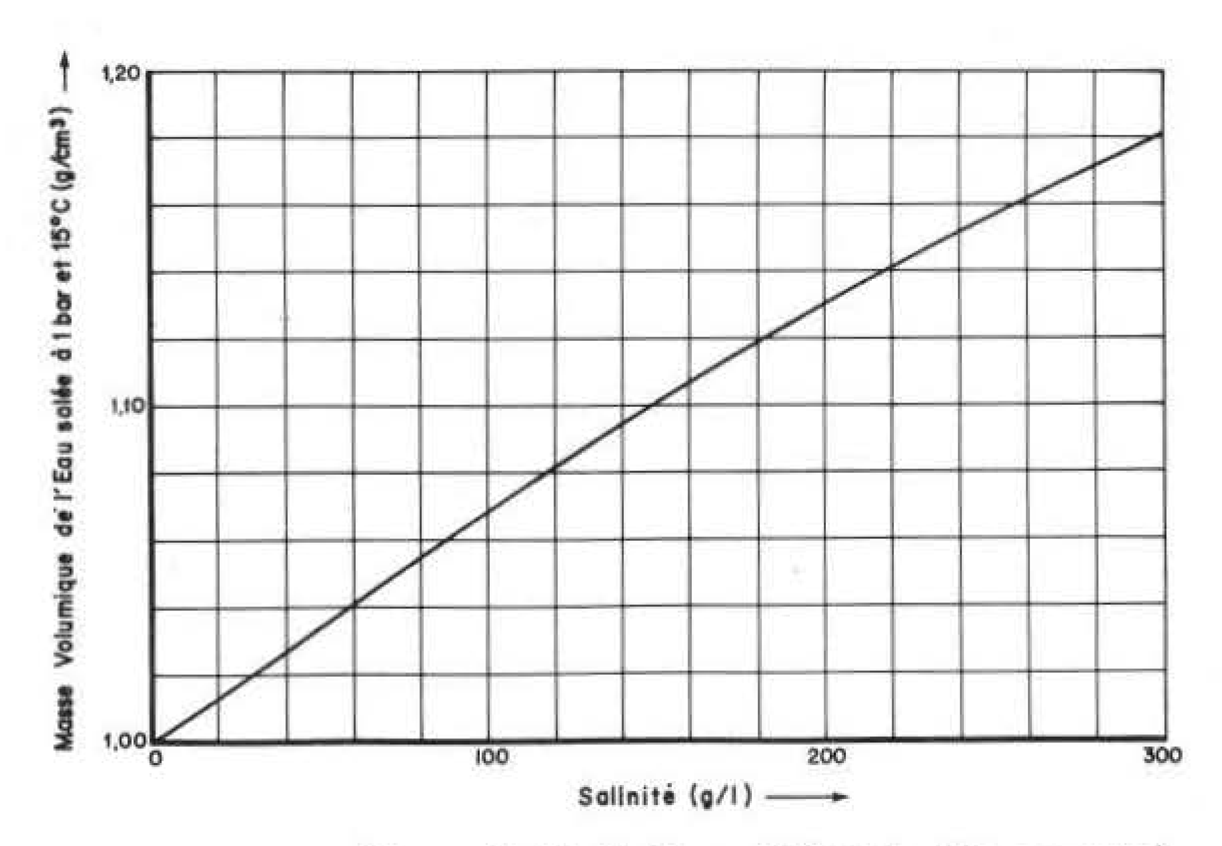
Masse volumique de C_{3+} à 15°C et 1 bar :
79,731 : 103,399 = 0,771 g/cm^3

% de Masse de C_2 dans C_{2+} : $100 \frac{2}{81,731}$ = 2,4 % % Masse de C_1 dans C_{1+} : $100 \frac{7,760}{89,491}$ = 8,7 %

D'après Graphique III, Masse Volumique de C_{2+} à 15°C et 1 bar : 0,758 g/cm^3
D'après Graphique IV, Masse Volumique du Brut à 15°C et 1 bar : 0,672 g/cm^3
D'après Graphique I, Masse Volumique du Brut à 15°C et 210 bars absolus : 0,672 + 0,021 = 0,693 g/cm^3
D'après Graphique II, Masse Volumique du Brut à 82°C et 210 bars absolus : 0,693 − 0,058 = 0,635 g/cm^3

(Doc. E.R.A.P. - Départ. Gisements)

Fig. II.11. — MASSE VOLUMIQUE DES EAUX DE GISEMENT (D'après Frick, Mac Ketta et Wehe)



(Doc. E.R.A.P. - Départ. Gisements)

Exemple :

Détermination de la masse volumique de l'eau salée à 1 bar et 15°C et de la masse volumique de l'eau salée dans les conditions de gisement :

Température	:	80°C
Pression	:	200 bars absolus
Salinité eau de stockage	:	30 g/l

Masse volumique de l'eau salée à 1 bar et 15°C : 1,020 g/cm^3

Facteur volumétrique de l'eau saturée en gaz : 0,024 m^3/m^3.

Masse volumique de l'eau salée - conditions fond : $\frac{1,021}{1,024} = 0,996$ g/cm^3

chapitre **III**

MATÉRIEL TUBULAIRE

SOMMAIRE

CHAPITRE III

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES ACIERS A.P.I.

Aciers à tubes casing et à tubing

Caractéristique / Nuance d'acier	H 40	J 55	C 75 *	N 80	P 105 **	P 110 ***
Limite élastique minimale (kgf/mm²)	28,1	38,7	52,7	56,2	73,8	77,3
Limite élastique maximale (kgf/mm²)	-	56,2	63,3	77,3	94,9	98,4
Résistance à la traction minimale (kgf/mm²) ..	42,2	52,7	66,8	70,3	84,4	87,9
Coefficient d'élasticité moyenne d'écrasement (kgf/mm²)	35,2	45,7	59,8	63,3	84,4	87,9
Allongement sur section de tube (%)	32	25	18	18	17	17

* Pour service en milieu sulfuré.
** Pour tubing seulement.
*** Pour casing seulement.

Aciers à tubes Line Pipe

Caractéristique / Nuance d'acier	A	B	X 42	X 46	X 52
Limite élastique minimale (kgf/mm²)	21,1	24,6	29,5	32,3	36,6
Résistance à la traction minimale (kgf/mm²) ..	33,7	42,2	42,2	44,3	46,4
Allongement sur section de tube (%)	35/21	30/18	25/17,5	23/13	22/10

Pour les tubes de nuance X 52 de dimension 20" et au-dessus dans les épaisseurs 9,52 mm (0.375") et au-dessous la résistance à la traction minimale est de 50,6 kgf/mm².

TUBES CASING A.P.I.

Pour tout renseignement complémentaire concernant les tubes casing A.P.I., consulter :

- en ce qui concerne les filetages, les standards A.P.I. 5 B (Édition de mars 1963) et A.P.I. 7 (Édition de mars 1965) ;

- en ce qui concerne les caractéristiques géométriques, les standards A.P.I. 5 A (Édition de mars 1963), 5 AC (Édition de mars 1964) et 5 AX (Édition de mars 1963) ;

- en ce qui concerne les caractéristiques mécaniques, le bulletin A.P.I. 5 C 2 (Édition de mars 1964) qui donne en particulier les équations servant de base au calcul des valeurs des résistances indiquées dans les pages qui suivent.

Les repères indiqués dans les pages traitant des caractéristiques mécaniques des tubes casing A.P.I. ont les significations suivantes :

* Les valeurs des caractéristiques mécaniques mentionnées pour la nuance d'acier J 55 correspondent à une charge de rupture minimale de 66,8 kgf/mm^2 au lieu de 52,7 kgf/mm^2 comme indiqué p. 103.

** Pour les casing P 110 la nuance voisine supérieure est V 150, une nuance d'acier non A.P.I. ayant une limite élastique de 105,4 kgf/mm^2.

*** Les valeurs de la résistance de l'écrasement ont été calculées à l'aide de l'équation conduisant à la rupture dans le domaine élastique (Bulletin A.P.I. 5 C 2).

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES TUBES CASING A.P.I.
mars 1963

CORPS DU TUBE					JOINT A FILETAGE ARRONDI				JOINT A FILETAGE BUTTRESS					JOINT INTEGRAL EXTREME LINE				
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Épais-seur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Section (mm²)	Diamètre extérieur du manchon (mm)	Diamètre du mandrin (mm)	Poids fileté-manchonné court (kgf/m)	Poids fileté-manchonné long (kgf/m)	Diamètre extérieur du manchon normal (mm)	Diamètre extérieur du manchon spécial (mm)	Diamètre du mandrin (mm)	Poids fileté-manchonné normal (kgf/m)	Poids fileté-manchonné spécial (kgf/m)	Diamètre extérieur du joint normal (mm)	Diamètre extérieur du joint spécial (mm)	Diamètre du mandrin (mm)	Poids refoulé-fileté normal (kgf/m)	Poids refoulé-fileté spécial (kgf/m)
	9,50	5,21	103,9	1785	127,0	100,7	14,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 1/2	10,50	5,69	102,9	1941	127,0	99,7	15,51	-	127,0	123,8	99,7	15,60	15,42	-	-	-	-	-
	11,60	6,35	101,6	2154	127,0	98,4	17,14	17,17	127,0	123,8	98,4	17,23	17,05	-	-	-	-	-
(114,3)	13,50	7,37	99,6	2475	127,0	96,4	-	19,64	127,0	123,8	96,4	19,70	19,51	-	-	-	-	-
	15,10	8,56	97,2	2843	127,0	94,0	-	22,50	127,0	123,8	94,0	22,53	22,35	-	-	-	-	-
	11,50	5,59	115,8	2132	141,3	112,6	17,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	13,00	6,43	114,1	2434	141,3	111,0	19,45	19,53	141,3	136,5	111,0	19,58	19,27	-	-	-	-	-
(127,0)	15,00	7,52	112,0	2822	141,3	108,8	22,44	22,52	141,3	136,5	108,8	22,56	22,25	136,1	-	106,2	22,47	-
	18,00	9,19	108,6	3403	141,3	105,4	-	27,00	141,3	136,5	105,4	27,01	26,70	136,1	-	105,4	26,79	-
	14,00	6,20	127,3	2599	153,7	124,1	20,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 1/2	15,50	6,98	125,7	2912	153,7	122,6	23,20	23,28	153,7	149,2	122,6	23,32	22,99	148,8	146,8	119,9	23,18	23,16
	17,00	7,72	124,3	3201	153,7	121,1	25,43	25,51	153,7	149,2	121,1	25,54	25,21	148,8	146,8	119,0	25,46	25,34
(139,7)	20,00	9,17	121,4	3760	153,7	118,2	-	29,81	153,7	149,2	118,2	29,82	29,51	148,8	146,8	118,2	29,59	29,47
	23,00	10,54	118,6	4277	153,7	115,4	-	33,78	153,7	149,2	115,4	33,80	33,47	148,8	146,8	115,4	33,54	33,42
	20,00	7,32	153,7	3699	187,7	150,5	29,82	30,02	187,7	177,8	150,5	30,08	29,17	-	-	-	-	-
6 5/8	24,00	8,94	150,4	4475	187,7	147,2	35,81	35,98	187,7	177,8	147,2	36,03	35,12	177,8	176,0	146,5	35,34	35,23
(168,3)	28,00	10,59	147,1	5247	187,7	143,9	-	41,91	187,7	177,8	143,9	41,94	41,04	177,8	176,0	143,9	41,16	41,04
	32,00	12,06	144,2	5921	187,7	141,0	-	47,09	187,7	177,8	141,0	47,10	46,21	177,8	176,0	141,0	46,33	46,21
	17,00	5,87	166,1	3169	194,5	162,9	25,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20,00	6,91	164,0	3709	194,5	160,8	29,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23,00	8,05	161,7	4294	194,5	158,5	34,27	34,45	194,5	187,3	158,5	34,50	33,80	187,7	185,7	156,4	34,12	33,99
7	26,00	9,19	159,4	4870	194,5	156,2	38,72	38,89	194,5	187,3	156,2	38,90	38,20	187,7	185,7	156,2	38,40	38,26
(177,8)	29,00	10,36	157,1	5451	194,5	153,9	-	43,34	194,5	187,3	153,9	43,35	42,65	187,7	185,7	153,9	42,79	42,65
	32,00	11,51	154,8	6011	194,5	151,6	-	47,64	194,5	187,3	151,6	47,65	46,95	187,7	185,7	151,6	47,10	46,97
	35,00	12,65	152,5	6563	194,5	149,3	-	51,88	194,5	187,3	149,3	51,88	51,18	191,3	187,7	149,3	51,54	51,33
	38,00	13,72	150,4	7070	194,5	147,2	-	55,78	194,5	187,3	147,2	55,76	55,06	191,3	187,7	147,2	55,44	55,23
	24,00	7,62	178,5	4454	215,9	175,3	36,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 5/8	26,40	8,33	177,0	4651	215,9	173,8	39,17	39,45	215,9	206,4	173,8	39,57	38,50	203,4	201,2	171,6	38,51	38,34
	29,70	9,52	174,7	5510	215,9	171,4	-	44,51	215,9	206,4	171,4	44,62	43,54	203,4	201,2	171,4	43,41	43,23
(193,7)	33,70	10,92	171,9	6271	215,9	168,7	-	50,35	215,9	206,4	168,7	50,44	49,36	203,4	201,2	168,7	49,17	48,99
	39,00	12,70	168,3	7221	215,9	165,1	-	57,64	215,9	206,4	165,1	57,71	56,64	203,4	201,2	165,1	56,46	56,28

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES TUBES CASING A.P.I.
mars 1963 (suite)

CORPS DU TUBE					JOINT A FILETAGE ARRONDI				JOINT A FILETAGE BUTTRESS					JOINT INTÉGRAL EXTREME LINE				
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal	Épais-seur	Diamètre intérieur	Section	Diamètre extérieur du manchon	Diamètre du mandrin	Poids fileté-manchonné		Diamètre extérieur du manchon		Diamètre du mandrin	Poids fileté-manchonné		Diamètre extérieur du joint		Diamètre du mandrin	Poids refoulé-fileté	
							court	long	normal	spécial		normal	spécial	normal	spécial		normal	spécial
	(lbf/ft)	(mm)	(mm)	(mm²)	(mm)	(mm)	(kgf/m)	(kgf/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(kgf/m)	(kgf/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(kgf/m)	(kgf/m)
8 5/8 (219,1)	24,00	6,71	205,7	4474	244,5	202,5	36,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28,00	7,72	203,7	5127	244,5	200,5	41,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	32,00	8,94	201,2	5903	244,5	198,0	47,83	48,34	244,5	231,8	198,0	48,38	46,73	231,6	229,4	195,8	47,27	47,01
	36,00	10,16	198,8	6668	244,5	195,6	53,74	54,20	244,5	231,8	195,6	54,24	52,59	231,6	229,4	195,6	52,86	52,61
	40,00	11,43	196,2	7456	244,5	193,0	-	60,24	244,5	231,8	193,0	60,27	58,62	231,6	229,4	193,0	58,77	58,52
	44,00	12,70	193,7	8734	244,5	190,5	-	66,20	244,5	231,8	190,5	66,22	64,57	231,6	229,4	190,5	64,69	64,44
	49,00	14,15	190,8	9108	244,5	187,6	-	72,89	244,5	231,8	187,6	72,91	71,26	231,6	229,4	187,6	71,37	71,12
9 5/8 (244,5)	32,30	7,92	228,7	5889	269,9	224,7	47,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	36,00	8,94	226,6	6615	269,9	222,6	53,59	54,26	269,9	257,2	222,6	54,19	52,37	-	-	-	-	-
	40,00	10,03	224,4	7390	269,9	220,4	59,54	60,18	269,9	257,2	220,4	60,11	58,28	256,5	254,5	219,7	58,74	58,49
	43,50	11,05	222,7	8103	269,9	218,4	-	65,64	269,9	257,2	218,4	65,57	63,74	256,5	254,5	218,4	63,95	63,69
	47,00	11,99	220,5	8756	269,9	216,5	-	70,64	269,9	257,2	216,5	70,57	68,74	256,5	254,5	216,5	68,83	68,58
	53,50	13,84	216,8	10030	269,9	212,8	-	80,39	269,9	257,2	212,8	80,38	78,49	256,5	254,5	212,8	78,56	78,31
10 3/4 (273,0)	32,75	7,09	258,8	5921	298,4	254,9	48,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40,50	8,89	255,2	7377	298,4	251,3	59,83	-	298,4	285,8	251,3	60,42	58,40	-	-	-	-	-
	45,50	10,16	252,7	8391	298,4	248,8	67,62	-	298,4	285,8	248,8	68,17	66,15	291,1	-	248,8	67,39	-
	51,00	11,43	250,1	9394	298,4	246,2	75,35	-	298,4	285,8	246,2	75,85	73,83	291,1	-	246,2	75,04	-
	55,50	12,57	247,9	10288	298,4	243,9	82,22	-	298,4	285,8	243,9	82,68	80,66	291,1	-	243,9	81,85	-
	60,70	13,84	245,3	11273	298,4	241,4	89,80	-	298,4	-	241,4	90,21	-	291,1	-	241,4	89,37	-
	65,70	15,11	242,8	12246	298,4	238,9	97,28	-	298,4	-	238,9	97,67	-	-	-	-	-	-
11 3/4 (298,4)	42,00	8,46	281,5	7706	323,8	277,6	62,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	47,00	9,52	279,4	8646	323,8	275,4	69,86	-	323,8	-	275,4	70,47	-	-	-	-	-	-
	54,00	11,05	276,3	9976	323,8	272,4	80,09	-	323,8	-	272,4	80,65	-	-	-	-	-	-
	60,00	12,42	273,6	11161	323,8	269,6	89,20	-	323,8	-	269,6	89,72	-	-	-	-	-	-
13 3/8 (339,7)	48,00	8,38	322,9	8725	365,1	319,0	70,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	54,50	9,65	320,4	10009	365,1	316,5	80,78	-	365,1	-	316,5	81,48	-	-	-	-	-	-
	61,00	10,92	317,9	11282	365,1	313,9	90,59	-	365,1	-	313,9	91,21	-	-	-	-	-	-
	68,00	12,19	315,3	12545	365,1	311,4	100,30	-	365,1	-	311,4	100,89	-	-	-	-	-	-
	72,00	13,06	313,6	13392	365,1	309,7	106,87	-	365,1	-	309,7	107,42	-	-	-	-	-	-
16 (406,4)	65,00	9,52	387,4	11876	431,8	382,6	96,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	75,00	11,13	384,1	13815	431,8	379,4	111,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	84,00	12,57	381,3	15556	431,8	376,5	124,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 (508,0)	94,00	11,13	485,7	17366	533,4	481,0	139,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBES CASING A.P.I.
mars 1964

CORPS DU TUBE							JOINT A FILETAGE ARRONDI			JOINT A FILETAGE BUTTRESS					JOINT INTÉGRAL EXTREME LINE		
							Résistance à la traction		Couple de serrage	Résistance à la traction				Couple de serrage	Résistance à la traction		Couple de serrage
										Manchon normal		Manchon spécial					
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Épais-seur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrase-ment (kgf/cm²)	Résistance à l'éclate-ment (kgf/cm²)	Limite élastique (tf)	Manchon court (tf)	Manchon long (tf)	(m.kgf)	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf) **	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf) **	(m.kgf)	Joint normal (tf)	Joint spécial (tf)	(m.kgf)
4 1/2 (114,3)	9,50	5,21	H 40 J 55	179 233	224 308	50 69	44 58	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	10,50	5,69	J 55	269	337	75	64	-	-	103 130 *	103 130 *	103 130 *	103 130 *		-	-	-
	11,60	6,35	J 55 C 75 N 80 P 110	319 397 418 559	376 512 547 752	83 113 121 166	72 - - -	86 96 101 127		113 144 * 144 151 189	113 144 * - 151 189	113 144 * 144 151 189	113 144 * - 151 189		- - - - -	- - - - -	- - - - -
	13,50	7,37	C 75 N 80 P 110	503 533 734	595 634 872	131 139 191	- - -	117 122 153		165 174 218	- 174 218	145 153 191	- 174 218		- - -	- - -	- - -
	15,10	8,56	P 110	913	1014	220	-	184		246	250	191	241		-	-	-
5" (127,0)	11,50	5,59	J 55	220	298	83	69	-		-	-	-	-	-	-	-	-
	13,00	6,43	J 55	276	342	94	81	95		128 162 *	128 162 *	128 162 *	128 162 *		- -	- -	
	15,00	7,52	J 55 C 75 N 80 P 110	350 440 465 631	401 546 583 801	109 149 159 218	95 - - -	112 134 141 176		149 189 * 189 198 248	149 189 * - 198 248	129 164 * 164 172 215	149 172 * - 198 248		149 189 * 189 198 248	- - - - -	500
	18,00	9,19	C 75 N 80 P 110	598 636 885	668 713 980	180 191 263	- - -	171 180 225		227 239 299	- 239 299	164 172 215	- 215 269		202 213 266	- - -	500
5 1/2 (139,7)	14,00	6,20	H 40 J 55	172 223	219 300	73 101	63 84	- -	365	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	15,50	6,98	J 55	271	338	112	96	112	365	154 195 *	154 195 *	143 181 *	154 191 *		154 195 *	154 195 *	
	17,00	7,72	J 55 C 75 N 80 P 110	316 394 415 554	374 510 544 748	124 169 180 248	106 - - -	125 148 158 202	365	169 214 * 214 225 281	169 214 * - 225 281	143 181 * 181 191 238	169 191 * - 225 281		169 214 * 214 225 281	169 214 * 214 225 281	550
	20,00	9,17	C 75 N 80 P 110	517 548 757	605 646 888	198 211 291	- - -	183 194 249	365	251 264 330	- 264 330	181 191 238	- 238 297		225 237 297	217 229 286	550
	23,00	10,54	C 75 N 80 P 110	626 662 920	696 742 1021	225 240 331	- - -	215 228 292	365	252 265 331	- 301 376	181 191 238	- 238 297		249 262 327	217 229 286	600

*, ** : Voir p. 104.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBES CASING A.P.I.
mars 1964 (suite)

CORPS DU TUBE							JOINT A FILETAGE ARRONDI			JOINT A FILETAGE BUTTRESS					JOINT INTÉGRAL EXTREME LINE		
							Résistance à la traction			Résistance à la traction					Résistance à la traction		
										Manchon normal		Manchon spécial					
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm²)	Résistance à l'éclatement (kgf/cm²)	Limite élastique (tf)	Manchon court (tf)	Manchon long (tf)	Couple de serrage (m.kgf)	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf) **	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf) **	Couple de serrage (m.kgf)	Joint normal (tf)	Joint spécial (tf)	Couple de serrage (m.kgf)
6 5/8 (168,3)	20,00	7,32	H 40	166	214	104	88	-	435	-	-	-	-		-	-	-
			J 55	215	294	143	117	136		195 247 *	195 247 *	176 222 *	195 234 *		- -	- -	- -
	24,00	8,94	J 55	298	359	173	145	168	435	236 299 *	236 299 *	176 222 *	222 234 *		216 274 *	216 274 *	
			C 75	368	490	236	-	205		299	-	222	-		274	274	
			N 80	387	523	252	-	218		315	315	234	292		289	289	
			P 110	512	719	346	-	291		393	393	292	360		361	361	
	28,00	10,59	C 75	484	581	277	-	750	435	351	-	222	-		294	292	
			N 80	514	619	295	-	266		369	369	234	292		309	308	
			P 110	704	852	406	-	354		461	461	292	360		386	385	
	32,00	12,06	C 75	589	662	312	-	289	435	396	-	222	-		325	292	
			N 80	626	706	333	-	307		416	416	234	292		342	308	
			P 110	877	970	458	-	410		520	520	292	360		428	385	
7 (177,8)	17,00	5,87	H 40	97	162	89	73	-	525	-	-	-	-		-	-	-
	20,00	6,91	H 40	135	191	104	87	-	525	-	-	-	-		-	-	-
			J 55	176	263	143	115	-		-	-	-	-		-	-	-
	23,00	8,05	J 55	231	307	166	136	156	525	226 287 *	226 287 *	190 240 *	226 253 *		226 287 *	226 287 *	550
			C 75	275	418	226	-	189		287	-	240	-		287	287	
			N 80	286	446	241	-	200		302	302	253	302		302	302	
	26,00	9,19	J 55	286	350	188	156	179	525	257 325 *	257 325 *	190 240 *	240 253 *		230 291 *	230 291 *	550
			C 75	351	477	257	-	222		325	-	240	-		291	291	
			N 80	368	509	274	-	235		342	342	253	316		306	306	
			P 110	484	699	376	-	314		428	428	316	387		383	383	
	29,00	10,36	C 75	430	538	288	-	255	525	364	-	240	-		311	306	650
			N 80	453	574	307	-	271		383	383	253	316		327	322	
			P 110	612	789	421	-	362		479	479	316	387		409	402	
	32,00	11,51	C 75	506	597	317	-	287	525	383	-	240	-		345	306	650
			N 80	537	637	338	-	305		403	423	253	316		363	322	
			P 110	740	876	465	-	407		504	528	316	387		454	402	
	35,00	12,65	C 75	582	657	346	-	319	525	383	-	240	-		386	345	750
			N 80	619	700	369	-	338		403	461	253	316		406	363	
			P 110	865	963	508	-	452		504	577	316	387		507	454	
	38,00	13,72	C 75	638	712	373	-	348	525	383	-	240	-		416	345	750
			N 80	676	759	398	-	369		403	497	253	316		438	363	
			P 110	939	1044	547	-	493		504	618	316	387		547	454	

*, ** : Voir p. 104.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBES CASING A.P.I. mars 1964 (suite)

CORPS DU TUBE							JOINT A FILETAGE ARRONDI			JOINT A FILETAGE BUTTRESS					JOINT INTÉGRAL EXTREME LINE		
							Résistance à la traction			Résistance à la traction					Résistance à la traction		
										Manchon normal		Manchon spécial					
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Épais-seur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrase-ment (kgf/cm²)	Résistance à l'éclate-ment (kgf/cm²)	Limite élastique (tf)	Manchon court (tf)	Manchon long (tf)	Couple de serrage (m.kgf)	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf) **	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf) **	Couple de serrage (m.kgf)	Joint normal (tf)	Joint spécial (tf)	Couple de serrage (m.kgf)
7 5/8 (193,7)	24,00	7,62	H 40	138	193	125	103	-	525	-	-	-	-		-	-	-
	26,40	8,33	J 55 C 75 N 80	212 247 257	291 397 423	188 256 273	151 - -	171 209 222	525	256 324 * 324 341	256 324 * - 341	256 324 * 324 341	256 324 * - 341		251 318 * 318 334	251 318 * 318 334	
	29,70	9,52	C 75 N 80 P 110	321 336 434	453 484 666	291 310 426	- - -	246 261 349	525	368 387 483	- 387 483	335 353 440	- 387 483		318 334 418	318 334 418	
	33,70	10,92	C 75 N 80 P 110	407 430 576	520 555 763	331 353 485	- - -	288 306 409	525	419 441 549	- 441 549	335 353 440	- 440 538		347 366 457	337 356 444	
	39,00	12,70	C 75 N 80 P 110	516 548 756	605 645 887	381 406 558	- - -	341 362 484	525	482 508 633	- 508 633	335 353 440	- 440 538		386 406 508	337 356 444	
8 5/8 (219,1)	24,00	6,71	J 55	101 ***	207	173	131	-	565	-	-	-	-		-	-	
	28,00	7,72	H 40	111	174	144	114	-	565	-	-	-	-		-	-	
	32,00	8,94	H 40 J 55	148 193	201 276	166 228	134 178	- 198	565	- 311 394 *	- 311 394 *	- 302 382 *	- 311 394 *		- 311 394 *	- 311 394 *	
	36,00	10,16	J 55 C 75 N 80	240 288 300	314 428 456	258 352 375	203 - -	226 294 312	565	352 445 * 445 469	352 445 * - 469	302 382 * 382 403	352 403 * - 469		312 395 * 395 416	312 395 * 395 416	
	40,00	11,43	C 75 N 80 P 110	356 375 492	482 513 706	393 420 577	- - -	337 357 479	565	498 524 646	- 524 646	382 403 497	- 497 607		427 450 562	402 423 528	
	44,00	12,70	C 75 N 80 P 110	425 449 607	535 571 785	434 463 637	- - -	378 402 538	565	550 579 714	- 579 714	382 403 497	- 497 607		457 481 601	402 423 528	
	49,00	14,15	C 75 N 80 P 110	505 535 737	596 636 874	480 512 704	- - -	426 452 606	565	608 640 790	- 640 790	382 403 497	- 497 607		457 481 601	402 423 528	

*, **, *** : Voir p. 104.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBES CASING A.P.I. mars 1964 (suite)

CORPS DU TUBE							JOINT A FILETAGE ARRONDI			JOINT A FILETAGE BUTTRESS					JOINT INTÉGRAL EXTREME LINE		
							Résistance à la traction			Résistance à la traction					Résistance à la traction		
										Manchon normal		Manchon spécial					
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm²)	Résistance à l'éclatement (kgf/cm²)	Limite élastique (tf)	Manchon court (tf)	Manchon long (tf)	Couple de serrage (m.kgf)	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf) **	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf) **	Couple de serrage (m.kgf)	Joint normal (tf)	Joint spécial (tf)	Couple de serrage (m.kgf)
9 5/8 (244,5)	32,30	7,92	H 40	93	160	166	127	-	650	-	-	-	-		-	-	-
	36,00	8,94	H 40 J 55	120 156	180 247	186 256	144 191	- 210	650	- 347 437 *	- 347 437 *	- 335 421 *	- 347 437 *		- - -	- - -	- - -
	40,00	10,03	J 55 C 75 N 80	194 224 231	278 379 404	286 390 415	216 - -	236 315 334	650	388 488 * 494 519	388 488 * - 519	335 421 * 426 449	388 449 * - 519		349 442 * 442 466	349 442 * 442 466	900
	43,50	11,05	C 75 N 80 P 110	273 285 334 ***	417 445 612	427 456 626	- - -	352 374 502	650	541 570 695	- 570 695	426 449 547	- 547 669		442 466 582	442 466 582	900
	47,00	11,99	C 75 N 80 P 110	319 335 430 ***	453 483 664	462 493 677	- - -	386 410 550	650	585 616 751	- 616 751	426 449 547	- 547 669		468 493 616	468 493 616	1000
	53,50	13,84	C 75 N 80 P 110	410 432 580	522 557 766	529 564 776	- - -	453 482 645	650	670 705 860	- 705 860	426 449 547	- 547 669		532 560 700	478 503 629	1000
10 3/4 (273,0)	32,75	7,09	H 40	59	128	166	120	-	675	-	-	-	-		-	-	-
	40,50	8,89	H 40 J 55	94 122	160 220	207 285	153 204	- -	675	- 382 481 *	- 382 481 *	- 369 464 *	- 382 481 *		- - -	- - -	- - -
	45,50	10,16	J 55	162	252	324	235	-	675	435 547 *	435 547 *	369 464 *	435 498 *		442 561 *	- -	
	51,00	11,43	J 55 C 75 N 80 P 110	202 234 242 264 ***	283 386 412 567	363 495 528 727	265 343 365 490	- - - -	675	487 613 * 627 659 797	487 613 * - 659 797	369 464 * 475 498 603	464 498 * - 603 737		495 627 * 627 660 826	- - - - -	
	55,50	12,57	C 75 N 80 P 110	283 295 354 ***	425 453 623	542 579 796	382 406 546	- - -	675	687 722 872	- 722 872	475 498 603	- 603 737		687 723 904	- - -	
	60,70	13,84	P 110	464	686	872	607	-	675	956	956	603	737		907	-	
	65,70	15,11	P 110	555	749	947	668	-	675	1038	1038	603	757		-	-	

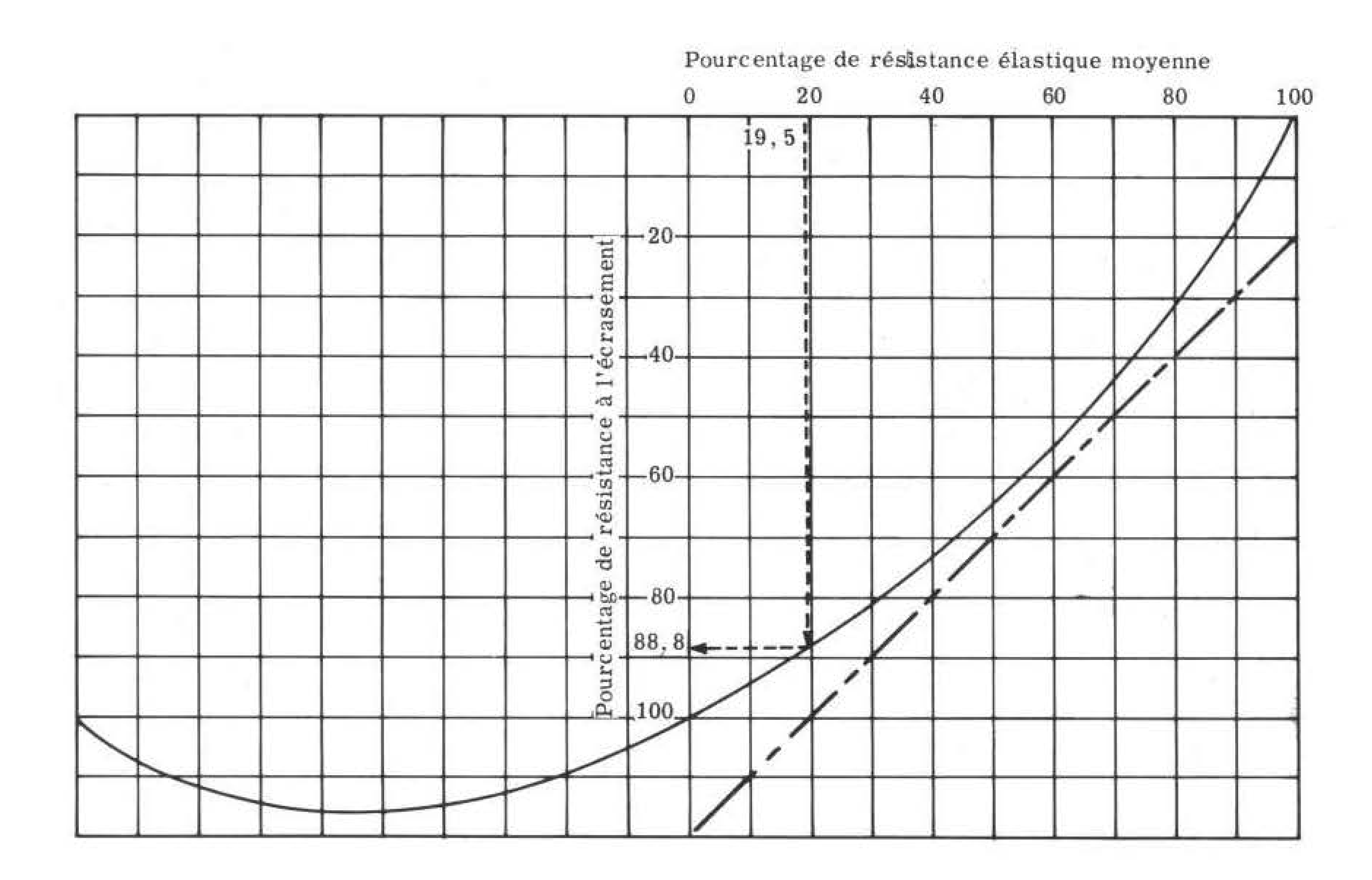
*, **, *** : Voir p. 104.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBES CASING A.P.I. mars 1964 (suite)

CORPS DU TUBE							JOINT A FILETAGE ARRONDI			JOINT A FILETAGE BUTTRESS					JOINT INTÉGRAL EXTREME LINE		
							Résistance à la traction		Couple de serrage	Résistance à la traction				Couple de serrage	Résistance à la traction		Couple de serrage
										Manchon normal		Manchon spécial					
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Épais-seur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrase-ment (kgf/cm²)	Résistance à l'éclate-ment (kgf/cm²)	Limite élastique (tf)	Manchon court (tf)	Manchon long (tf)	(m.kgf)	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf)	nuance normale (tf)	nuance supérieure (tf)	(m.kgf)	Joint normal (tf)	Joint spécial (tf)	(m.kgf)
	42,00	8,46	H 40	72	139	217	152	-		-	-	-	-		-	-	-
11 3/4	47,00	9,52	J 55	115 ***	216	334	230	-		443 558 *	443 558 *	-	-		-	-	-
	54,00	11,05	J 55	160	250	386	269	-		512 644 *	512 644 *	-	-		-	-	-
(298,4)	60,00	12,42	J 55 C 75 N 80	200 231 238	282 384 410	432 589 628	303 394 419	- - -		572 720 * 741 774	572 720 * 741 774	- - -	- - -		- - -	- - -	- - -
	48,00	8,38	H 40	52 ***	122	245	160	-	850	-	-	-	-		-	-	-
	54,50	9,65	J 55	80 ***	192	387	247	-	850	504 635 *	504 635 *	-	-		-	-	-
13 3/8	61,00	10,92	J 55	117 ***	217	436	281	-	850	568 715 *	568 715 *	-	-		-	-	-
(339,7)	68,00	12,19	J 55	150	243	485	315	-	850	632 796 *	632 796 *	-	-		-	-	-
	72,00	13,06	C 75 N 80	193 198	354 378	707 753	444 472	- -	850	873 913	873 913	- -	- -		- -	- -	- -
	65,00	9,52	H 40	44 ***	115	334	192	-		-	-	-	-		-	-	-
16 (406,4)	75,00	11,13	J 55	72 ***	185	534	300	-		-	-	-	-		-	-	-
	84,00	12,57	J 55	104 ***	209	601	342	-		-	-	-	-		-	-	-
20 (508,0)	94,00	11,13	H 40	37 ***	108	489	221	-		-	-	-	-		-	-	-

*, *** : Voir p. 104.

ELLIPSE DE PLASTICITÉ
d'après HOLMQUIST et NADAL
A. P. I. drilling and production practice 1939
(théorie de Von MISES)



MODE D'EMPLOI DE L'ELLIPSE DE PLASTICITÉ

Exemple :

Supposons que 100 tonnes soient suspendues à un tube casing 9 5/8" - 43,5 # - N 80. Nous déterminerons, à l'aide de l'abaque de plasticité, en fonction de la tension appliquée à ce tube, sa résistance effective à l'écrasement.

Solution :

1°) Détermination de la contrainte de tension : $\frac{\text{tension appliquée}}{\text{section du tube}}$
(voir p. 105 et 106)

$$\frac{100\,000}{8103} = 12,34 \text{ kgf/mm}^2$$

2°) Détermination du pourcentage de résistance élastique moyenne :

$$\frac{\text{contrainte de tension}}{\text{coefficient d'élasticité moyenne d'écrasement (voir p. 103)}} \times 100$$

$$\frac{12,34}{63,3} \times 100 = 19,5\ \%$$

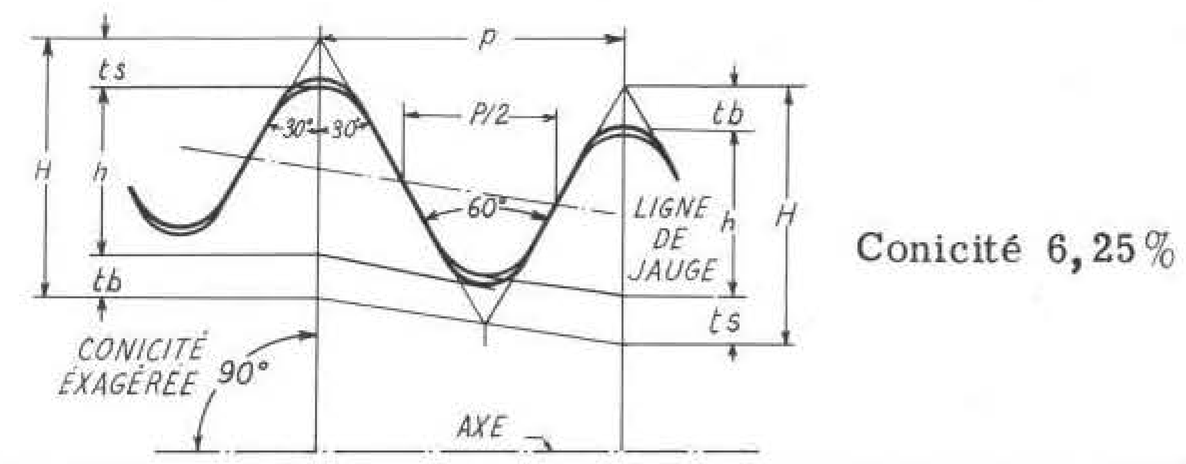
3°) Détermination du pourcentage de résistance nominale à l'écrasement comme indiqué sur l'abaque de plasticité : 88,6 %.

4°) Détermination de la résistance effective à l'écrasement du tube 9 5/8" - 43,5 # - N 80 sous une tens.on de 100 tonnes :

résistance de l'écrasement (voir p. 107 à 109)
× pourcentage de résistance nominale à l'écrasement

$$285 \times 88,6 = 252,5 \text{ kgf/cm}^2$$

FORME DU FILETAGE TUBING A.P.I.



Conicité 6,25 %

Éléments du filet	10 filets par pouce p = 2,540	8 filets par pouce p = 3,175
H = 0,866 p	2,200 mm	2,750 mm
h = 0,626 p − 0,178	1,412 mm	1,810 mm
tb = 0,120 p + 0,051	0,356 mm	0,432 mm
ts = 0,120 p + 0,127	0,432 mm	0,508 mm

NOMBRE DE FILETS PAR POUCE			
Diamètre extérieur (in)	Tubing sans refoulement	Tubing à refoulement extérieur	Tubing à joint intégral
1,050	10	10	-
1,315	10	10	10
1,660	10	10	10
1,900	10	10	10
2,063	-	-	10
2 3/8	10	8	-
2 7/8	10	8	-
3 1/2	10	8	-
4	8	8	-
4 1/2	8	8	-

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES TUBING A.P.I.
mars 1963

CORPS DU TUBE					Diamètre	TUBING SANS REFOULEMENT		TUBING A REFOULEMENT EXTÉRIEUR						TUBING A JOINT INTÉGRAL		
								Diamètre extérieur du manchon		Poids fileté-manchonné						
										Normal		Spécial				
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Section (mm^2)	du mandrin ou drift (mm)	Diamètre extérieur du manchon (mm)	Poids fileté-manchonné (kgf/m)	normal (mm)	spécial (mm)	court (kgf/m)	long (kgf/m)	court (kgf/m)	long (kgf/m)	Diamètre extérieur du joint (mm)	Diamètre intérieur du joint (mm)	Poids refoulé-fileté (kgf/m)
1,050 (26.7)	1,14 1,20	2,87 2,87	20,9 20,9	215 215	18,5 18,5	33,4 -	1,70 -	- 42,2	- -	- 1,79	- -	- -	- -	- -	- -	- -
1,315 (33,4)	1,70 1,72 1,80	3,38 3,38 3,38	26,6 26,6 26,6	319 319 319	24,3 24,3 24,3	42,2 - -	2,53 - -	- - 48,3	- - -	- - 2,60	- - -	- - -	- - -	- 39,4 -	- 24,6 -	- 2,52 -
1,660 (42,2)	2,10 2,30 2,33 2,40	3,18 3,56 3,56 3,56	35,8 35,1 35,1 35,1	389 431 431 431	32,7 32,7 32,7 32,7	- 52,2 - -	- 3,44 - -	- - - 55,9	- - - -	- - - 3,50	- - - -	- - - -	- - - -	47,8 - 47,8 -	33,0 - 33,0 -	3,07 - 3,39 -
1,900 (48,3)	2,40 2,75 2,76 2,90	3,18 3,68 3,68 3,68	41,9 40,9 40,9 40,9	450 516 516 516	38,5 38,5 38,5 38,5	- 55,9 - -	- 4,09 - -	- - - 63,5	- - - -	- - - 4,20	- - - -	- - - -	- - - -	53,6 - 53,6 -	38,9 - 38,9 -	3,54 - 4,06 -
2,063 (52,4)	3,25	3,96	44,5	603	42,1	-	-	-	-	-	-	-	-	59,1	42,5	4,75
2 3/8 (60,3)	4,00 4,60 4,70 5,80 5,95	4,24 4,83 4,83 6,45 6,45	51,8 50,7 50,7 47,4 47,4	747 841 841 1 092 1 092	49,5 48,3 48,3 45,0 45,0	73,0 73,0 - 73,0 -	5,98 6,71 - 8,66 -	- - 77,8 - 77,8	- - 73,9 - 73,9	- - 6,89 - 8,83	- - 6,94 - 8,87	- - 6,80 - 8,75	- - 6,83 - 8,77	- - - - -	- - - - -	- - - - -
2 7/8 (73,0)	6,40 6,50 8,60 8,70	5,51 5,51 7,82 7,82	62,0 62,0 57,4 57,4	1 169 1 169 1 603 1 603	59,6 59,6 55,0 55,0	88,9 - 88,9 -	9,41 - 12,75 -	- 93,2 - 93,2	- 87,9 - 87,9	- 9,58 - 12,93	- 9,66 - 13,01	- 9,45 - 12,80	- 9,48 - 12,83	- - - -	- - - -	- - - -
3 1/2 (88,9)	7,70 9,20 9,30 10,20 12,70 12,95	5,49 6,45 6,45 7,34 9,52 9,52	77,9 76,0 76,0 74,2 69,8 69,8	1 438 1 671 1 671 1 881 2 375 2 375	74,8 72,8 72,8 71,0 66,7 66,7	108,0 108,0 - 108,0 108,0 -	11,68 13,48 - 15,11 18,93 -	- - 114,3 - - 114,3	- - 106,2 - - 106,2	- - 13,80 - - 19,24	- - 13,91 - - 19,35	- - 13,51 - - 18,96	- - 13,57 - - 18,99	- - - - - -		- - - - - -
4 (101,6)	9,50 11,00	5,74 6,65	90,1 88,3	1 729 1 985	86,9 85,1	120,6 -	14,02 -	- 127,0	- -	- 16,36	- -	- -	- -	- -		- -
4 1/2 (114,3)	12,60 12,75	6,88 6,88	100,5 100,5	2 323 2 323	97,4 97,4	132,1 -	18,66 -	- 141,3	- -	- 19,20	- -	- -	- -	- -		- -

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A.P.I.
mars 1964

Diamètre extérieur (in et mm)	POIDS NOMINAL sans refoulement (lbf/ft)	POIDS NOMINAL avec refoulement (lbf/ft)	POIDS NOMINAL joint intégral (lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm²)	Résistance à l'éclatement (kgf/cm²)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Limite élastique sans refoulement (tf)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Limite élastique avec refoulement (tf)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Couple de serrage (m.kgf)	JOINT INTÉGRAL Limite élastique (tf)	JOINT INTÉGRAL Couple de serrage (m.kgf)
1,050 (26,7)	1,14	1,20	-	2,87	H 40	506	529	2,885	6,033		-	-
					J 55	659	728	3,964	8,296		-	-
					C 75	861	993	5,407	11,313		-	-
					N 80	912	1 059	5,765	12,070		-	-
1,315 (33,4)	1,70	1,80	1,72	3,38	H 40	479	498	4,971	8,963		7,244	
					J 55	623	684	6,831	12,320		9,961	
					C 75	815	933	9,317	16,801		13,580	
					N 80	863	995	9,938	17,921		14,488	
1,660 (42,2)	-	-	2,10	3,18	H 40	367	370	-	-		10,061	
					J 55	477	510	-	-		13,834	
	2,30	2,40	2,33	3,56	H 40	407	415	7,044	12,129		10,061	
					J 55	529	571	9,689	16,679		13,834	
					C 75	692	778	13,209	22,743		18,869	
					N 80	733	830	14,089	24,258		20,126	
1,900 (48,3)	-	-	2,40	3,18	H 40	313	324	-	-		12,197	
					J 55	407	445	-	-		16,769	
	2,75	2,90	2,76	3,68	H 40	372	375	8,659	14,506		12,197	
					J 55	483	517	11,907	19,944		16,769	
					C 75	632	704	16,239	27,197		22,870	
					N 80	669	751	17,318	29,012		24,394	
2,063 (52,4)	-	-	3,25	3,96	H 40	368	372	-	-	-	14,447	
					J 55	479	512	-	-	-	19,867	
					C 75	626	697	-	-	-	27,088	
					N 80	664	744	-	-	-	28,894	

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A.P.I.
mars 1964 (suite)

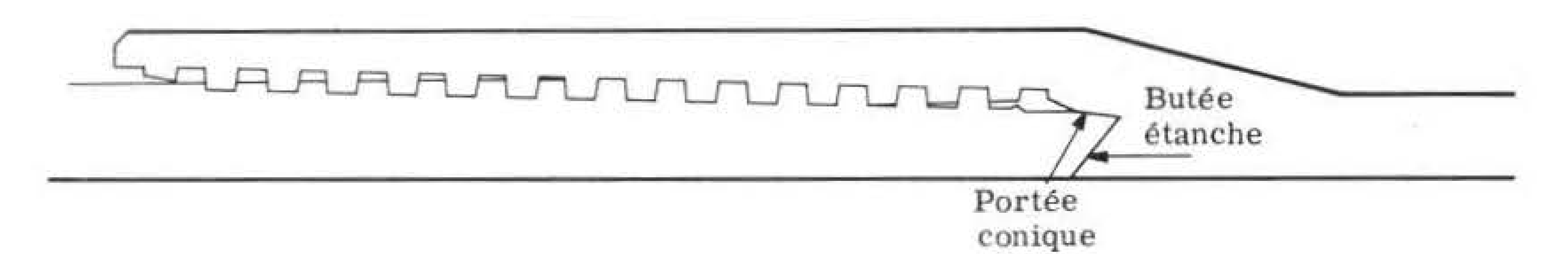
Diamètre extérieur (in et mm)	POIDS NOMINAL sans refoulement (lbf/ft)	POIDS NOMINAL avec refoulement (lbf/ft)	POIDS NOMINAL Joint intégral (lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm²)	Résistance à l'éclatement (kgf/cm²)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Limite élastique sans refoulement (tf)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Limite élastique avec refoulement (tf)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Couple de serrage (m.kgf)	JOINT INTÉGRAL Limite élastique (tf)	JOINT INTÉGRAL Couple de serrage (m.kgf)
2 3/8 (60,3)	4,00	-	-	4,24	H 40	343	346	13,667	-		-	-
					J 55	446	476	18,792	-	165	-	-
					C 75	573	649	25,628	-		-	-
					N 80	609	692	27,333	-	205	-	-
	4,60	4,70	-	4,83	H 40	388	394	16,311	23,664		-	-
					J 55	505	541	22,430	32,536	165	-	-
					C 75	659	738	30,586	44,370		-	-
					N 80	699	787	32,627	47,328	205	-	-
					P 105	931	1 033	42,823	62,115		-	-
	5,80	5,95	-	6,45	C 75	856	987	43,799	57,579		-	-
					N 80	906	1 052	46,715	61,416	205	-	-
					P 105	1 208	1 381	61,316	80,607		-	-
2 7/8 (73,0)	6,40	6,50	-	5,51	H 40	368	371	23,940	32,876		-	-
					J 55	478	510	32,922	45,205	205	-	-
					C 75	626	697	44,892	61,643		-	-
					N 80	662	743	47,885	65,752	250	-	-
					P 105	883	975	62,849	86,300		-	-
	8,60	8,70	-	7,82	C 75	858	988	67,748	84,499		-	-
					N 80	908	1 054	72,261	90,133	250	-	-
					P 105	1 211	1 384	94,846	118,301		-	-

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A.P.I.
mars 1964 (suite)

Diamètre extérieur (in et mm)	POIDS NOMINAL sans refoulement (lbf/ft)	POIDS NOMINAL avec refoulement (lbf/ft)	POIDS NOMINAL Joint intégral (lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm²)	Résistance à l'éclatement (kgf/cm²)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Limite élastique sans refoulement (tf)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Limite élastique avec refoulement (tf)	JOINT A FILETAGE ARRONDI Couple de serrage (m.kgf)	JOINT INTÉGRAL Limite élastique (tf)	JOINT INTÉGRAL Couple de serrage (m.kgf)
3 1/2 (88,9)	7,70	-	-	5,49	H 40	286	304	29,515	-		-	-
					J 55	372	418	40,583	-		-	-
					C 75	470	569	55,343	-		-	-
					N 80	498	607	59,030	-		-	-
	9,20	9,30	-	6,45	H 40	355	357	36,079	46,996		-	-
					J 55	461	491	49,609	64,618		-	-
					C 75	600	669	67,648	88,114		-	-
					N 80	638	714	72,162	93,993		-	-
					P 105	851	937	94,710	123,363		-	-
	10,20	-	-	7,34	H 40	399	406	41,980	-		-	-
					J 55	520	559	57,719	-		-	-
					C 75	679	762	78,711	-		-	-
					N 80	719	813	83,960	-		-	-
	12,70	12,95	-	9,52	C 75	858	988	104,775	125,245		-	-
					N 80	908	1 054	111,760	133,596		-	-
					P 105	1 211	1 384	146,686	175,344		-	-
4 (101,6)	9,50	-	-	5,74	H 40	252	278	32,658	-		-	-
					J 55	327	382	44,910	-		-	-
					C 75	408	522	61,239	-		-	-
					N 80	430	556	65,321	-		-	-
	-	11,00	-	6,65	H 40	311	322	-	55,823		-	-
					J 55	404	443	-	76,756		-	-
					C 75	515	605	-	104,666		-	-
					N 80	547	645	-	111,647		-	-
4 1/2 (114.3)	12,60	12,75	-	6,88	H 40	276	297	47,337	65,326		-	-
					J 55	359	408	65,090	89,824		-	-
					C 75	452	555	88,758	122,487		-	-
					N 80	479	593	94,678	130,652		-	-

TUBING V.A.M.

Caractéristiques du filetage



Filetage Buttress
5 filets par pouce
Conicité 6,25 %
Hauteur du filet 1,57 mm

Types de joints

Ce joint est normalement livré en assemblage avec double étanchéité, cône et butée, métal sur métal.

Un assemblage "spécial anticorrosion" avec joint d'étanchéité PTFE (polytétrafluoro-éthylène) est actuellement en cours de mise au point.

Efficience du joint

Le joint V.A.M. tubing est équirésistant au corps du tube en limite élastique et proche de l'équirésistance au corps du tube en charge de rupture.

Résistance du corps du tube

On trouvera dans les tableaux suivants les valeurs de limite élastique et de résistance à la rupture. Les nuances d'acier utilisées par les fabricants ayant des propriétés mécaniques nettement supérieures aux minima de l'A.P.I., si pour les calculs de limite élastique les valeurs de l'A.P.I. (55 000 psi pour J 55, 75 000 psi pour C 75, 80 000 psi pour N 80 et 105 000 psi pour P 105) ont été conservées par sécurité, en ce qui concerne la résistance à la rupture, les valeurs de 95 000 psi pour J 55 et C 75, 100 000 psi pour N 80 et 120 000 psi pour P 105 ont été admises.

Nota - Les renseignements techniques concernant les tubing V.A.M. figurant dans les pages suivantes n'ont qu'une valeur d'information et sont sujets à révision.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES TUBING A JOINT INTÉGRAL V.A.M.

TUBE					Diamètre du mandrin (mm)	JOINT*	
Diamètre extérieur		Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Diamètre intérieur (mm)		Diamètre extérieur	
(in)	(mm)					normal (mm)	spécial (mm)
2 3/8	60,3	4,00 4,60 5,80	4,24 4,83 6,45	51,8 50,6 47,4	49,45 48,29 45,03	68,22 70,51	66,50 68,50
2 7/8	73,0	6,40 8,60	5,51 7,82	62,0 57,4	59,61 54,99	81,28 84,45	80,01 82,91
3 1/2	88,9	7,70 9,20 10,20 12,70	5,49 6,45 7,34 9,51	77,9 76,0 74,2 69,9	74,75 72,82 71,04 66,68	98,04 99,57	96,54 97,79
4	101,6	9,50 11,00	5,74 6,65	90,1 88,3	86,94 85,12	110,90	109,60
4 1/2	114,3	12,75	6,88	100,5	97,36	123,49	122,00

*Le diamètre intérieur du joint est identique au diamètre intérieur du tube.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A JOINT INTÉGRAL V.A.M.

Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm2)	Résistance à l'éclatement (87,5 % E) (kgf/cm2)	Corps du tube* Limite élastique (tf)	Corps du tube* Résistance à la traction (tf)
2 3/8 (60,3)	4	4,24	J 55	446	476	28,9	49,9
			C 75	573	649	39,4	49,9
			N 80	609	692	42,0	52,5
	4,60	4,83	J 55	505	541	32,5	56,2
			C 75	659	738	44,3	56,2
			N 80	699	787	47,3	59,1
			P 105	931	1 033	62,1	70,9
	5,80	6,45	C 75	856	987	57,5	72,9
			N 80	906	1 052	61,4	76,7
			P 105	1 208	1 381	80,6	92,1
2 7/8 (73,0)	6,40	5,51	J 55	478	510	45,2	78,0
			C 75	626	697	61,6	78,0
			N 80	662	743	65,7	82,1
			P 105	883	975	86,3	98,6
	8,60	7,82	C 75	858	988	84,4	107,0
			N 80	908	1 054	90,1	112,6
			P 105	1 211	1 384	118,2	135,1

*Le joint V.A.M. tubing est équirésistant au corps du tube en limite élastique et proche de l'équirésistance au corps du tube en résistance à la traction.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A JOINT INTÉGRAL V.A.M. (suite)

Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm2)	Résistance à l'éclatement (87,5 % E) (kgf/cm2)	Corps du tube* Limite élastique (tf)	Corps du tube* Résistance à la traction (tf)
3 1/2 (88,9)	7,70	5,49	J 55	372	418	55,5	96,0
			C 75	470	569	75,8	96,0
			N 80	498	607	80,8	101,0
	9,20	6,45	J 55	461	491	64,6	111,6
			C 75	600	669	88,1	111,6
			N 80	638	714	93,9	117,4
			P 105	851	937	123,3	140,9
	10,20	7,34	J 55	520	559	72,7	125,6
			C 75	679	762	99,1	125,6
			N 80	719	813	105,7	132,2
	12,70	9,51	C 75	858	988	125,2	158,6
			N 80	908	1 054	133,5	166,9
			P 105	1211	1 384	175,3	200,3
4 (101,6)	9,50	5,74	J 55	327	382	66,8	115,4
			C 75	408	522	91,1	115,4
			N 80	430	556	97,2	121,5
	11,00	6,65	J 55	404	443	76,7	132,5
			C 75	515	605	104,6	132,5
			N 80	547	645	111,6	139,5
4 1/2 (114,3)	12,75	6,88	J 55	359	408	89,8	155,1
			C 75	452	555	122,4	155,1
			N 80	479	593	130,6	163,3

*Le joint V.A.M. tubing est équirésistant au corps du tube en limite élastique et proche de l'équirésistance au corps du tube en résistance à la traction.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES TUBING A JOINT TYPE LACQ

Type de joint	TUBE					Diamètre du mandrin	JOINT		
	Diamètre extérieur		Poids nominal	Epais-seur	Diamètre intérieur		Diamètre extérieur	Diamètre intérieur	Longueur bout mâle
	(in)	(mm)	(lbf/ft)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
LACQ T1 (filetage à 8 filets par pouce)	2 3/8	60,3	4,15	4,24	51,85	48,29	68,6	49,4	58,5
			4,70	4,83	50,67	48,29	68,6	49,4	58,5
			5,30	5,54	49,25	46,86	68,6	49,4	58,5
			5,95	6,45	47,42	45,05	68,6	49,4	58,5
	2 7/8	73,0	6,50	5,51	62,00	59,62	81,8	60,3	60,0
			8,70	7,82	57,38	54,58	81,8	60,3	60,0
			8,90	8,03	56,96	54,58	81,8	60,3	60,0
	3 1/2	88,9	9,30	6,45	76,00	72,80	98,5	74,2	71,0
			10,30	7,34	74,22	71,02	98,5	73,1	71,0
	4	101,6	9,50	5,74	90,12	84,72	110,3	86,2	71,5
			11,00	6,65	88,29	84,72	110,3	86,2	71,5
			13,55	8,38	84,84	81,67	110,3	86,2	71,5
			13,55*	8,38	84,84	81,67	113,0	82,5	71,5
	4 1/2	114,3	12,75	6,88	100,54	97,36	123,3	98,2	72,25
LACQ T2 (filetage à 6 filets par pouce)	2 7/8	73,0	8,90	8,03	56,96	54,58	88,9	55,4	76,7
	3 1/2	88,9	10,30	7,35	74,20	71,02	100,3	72,55	106,0
			13,70**	10,60	67,70	64,52	100,3	70,0	106,0
			14,40	10,60	67,70	64,52	109,0	66,0	106,0
			16,60	12,20	64,50	61,32	109,0	66,0	106,0
	4	101,6	11,00**	6,65	88,29	85,11	113,7	86,2	106,0
			13,55**	8,38	84,84	81,67	113,7	83,2	106,0
			16,00**	10,16	81,28	78,11	113,7	80,0	106,0
			19,55	13,00	75,60	72,40	126,0	73,9	106,0

* Renforcé
**Allégé

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A JOINT TYPE LACQ T1

Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écra-sement (kgf/cm²)	Epreuve hydrau-lique sur tube (kgf/cm²)	Corps du tube		Efficience du joint (%)	Couple de serrage (m.kgf)
						Limite élastique (tf)	Résistance à la traction (tf)		
2 3/8 (60,3)	4,15	4,24	J 55	446	435	28,9	48,3	120,4	250
			N 80	583	632	42,0	55,1		
			P 105	788	703	55,1	63,0		
	4,70	4,83	J 55	505	492	32,5	54,4	107	250
			N 80	660	703	47,3	62,1		
			P 105	893	703	62,1	70,9		
	5,30	5,54	J 55	572	568	36,8	61,6	94,4	250
			N 80	747	703	53,6	70,3		
			P 105	1 011	703	70,3	80,4		
	5,95	6,45	J 55	655	661	42,2	70,6	82,5	250
			N 80	856	703	61,4	80,6		
			P 105	1 159	703	80,6	92,1		
2 7/8 (73,0)	6,50	5,51	J 55	478	464	45,2	75,6	103	345
			N 80	626	682	65,7	86,3		
			P 105	846	703	86,3	98,6		
	8,70	7,82	J 55	655	662	61,9	103,6	75,2	345
			N 80	858	703	90,1	118,2		
			P 105	1 160	703	118,2	135,1		
	8,90	8,03	J 55	671	680	63,3	106,0	73,4	345
			N 80	878	703	92,1	120,9		
			P 105	1 187	703	120,9	138,2		

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A JOINT TYPE LACQ T1 (suite)

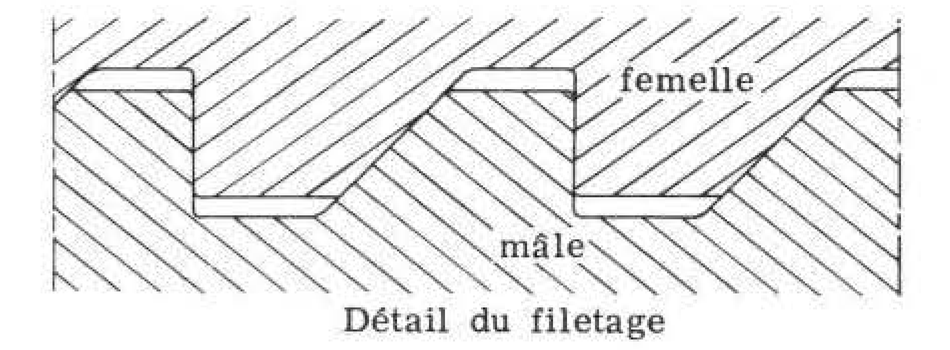
Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm2)	Epreuve hydraulique sur tube (kgf/cm2)	Corps du tube Limite élastique (tf)	Corps du tube Résistance à la traction (tf)	Efficience du joint (%)	Couple de serrage (m.kgf)
3 1/2 (88,9)	9,30	6,45	J 55 N 80 P 105	461 603 816	450 654 858	64,6 93,9 123,3	108,0 123,3 140,9	106,4	415
	10,30	7,34	J 55 N 80 P 105	520 679 919	513 746 979	72,7 105,7 138,8	121,6 138,8 158,6	101,3	415
4 (101,6)	9,50	5,74	J 55 N 80 P 105	327 427 576	349 509 667	66,8 97,2 127,6	111,8 127,6 145,8	122,2	485
	11,00	6,65	J 55 N 80 P 105	404 529 709	408 591 703	76,7 111,6 146,5	128,3 146,5 167,4	106	485
	13,55	8,38	J 55 N 80 P 105	519 679 918	510 703 703	94,9 138,0 181,2	158,7 181,2 207,0	86	485
	13,55 (renforcé)	8,38	J 55 N 80 P 105	519 679 918	510 703 703	94,9 138,0 181,2	158,7 181,2 207,0	106	485
4 1/2 (114,3)	12,75	6,88	J 55 N 80 P 105	359 470 635	373 541 703	89,8 130,6 171,4	150,2 171,4 195,9	106,4	485

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A JOINT TYPE LACQ T2

Diamètre extérieur (in et mm)	Point nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écra-sement (kgf/cm2)	Epreuve hydrau-lique sur tube (kgf/cm2)	Corps du tube Limite élastique (tf)	Corps du tube Résistance à la traction (tf)	Efficience du joint (%)	Couple de serrage (m.kgf)
2 7/8 (73,0)	8,90	8,03	J 55	671	680	63,3	106,0	108	415
			N 80	878	703	92,1	120,9		
			P 105	1 187	703	120,9	138,2		
3 1/2 (88,9)	10,20	7,34	J 55	520	511	72,7	121,6	111,3	450
			N 80	679	703	105,7	138,8		
			P 105	919	703	138,8	158,6		
	13,70 (allégé)	10,60	J 55	720	703	100,7	168,5	84,2	485
			N 80	941	703	146,5	192,3		
			P 105	1 273	703	192,3	219,8		
	14,40	10,60	J 55	720	703	100,7	168,5	108	485
			N 80	941	703	146,5	192,3		
			P 105	1 273	703	192,3	219,8		
	16,60	12,20	J 55	812	703	113,6	190,0	95,7	485
			N 80	1 061	703	165,2	216,8		
			P 105	1 436	703	216,8	247,8		
4 (101,6)	11,00 (allégé)	6,65	J 55	404	404	76,7	128,3	118,9	485
			N 80	528	588	111,6	146,5		
			P 105	715	703	146,5	167,4		
	13,55 (allégé)	8,38	J 55	519	510	94,9	158,7	104,5	485
			N 80	679	703	138,0	181,2		
			P 105	918	703	181,2	207,0		
	16,00 (allégé)	10,16	J 55	617	619	112,8	188,7	87,8	500
			N 80	807	703	164,1	215,4		
			P 105	1 091	703	215,4	246,2		
	19,55	13,00	J 55	765	703	139,9	234,1	108	555
			N 80	1 000	703	203,5	267,2		
			P 105	1 353	703	267,2	305,3		

TUBING HARDY GRIFFIN

Caractéristiques du filetage



Détail du filetage

Filetage ACME
8 filets par pouce pour les dimensions ⩽ 2 3/8"
6 filets par pouce pour les dimensions ⩾ 2 7/8"
Conicité : 9,375 %
Flancs de filetage à 7° et 45°
Hauteur du filet : 0,762 mm (8 filets par pouce)
Jeu théorique en fond de filet : 0,093 mm (8 filets par pouce)

Types de joints

La différence essentielle entre les types de joints AJ et DS est l'existence dans le joint DS d'une bague d'étanchéité en téflon dans le filetage. Quant aux types AJS et DSS ils diffèrent des types AJ et DS par des cotes intérieure et extérieure du refoulement légèrement différentes et beaucoup plus précises grâce à l'usinage de la partie refoulée.

Efficience du joint

L'efficience du joint est le rapport de la résistance à la traction du joint lui-même à la résistance au corps du tube.

Résistance du corps du tube

On trouvera dans les tableaux suivants les valeurs de limite élastique et de résistance à la rupture. Les nuances d'acier utilisées par les fabricants ayant des propriétés mécaniques nettement supérieures aux minima de l'A.P.I., si pour les calculs de limite élastique les valeurs de l'A.P.I. (55 000 psi pour J 55, 80 000 psi pour N 80 et 105 000 psi pour P 105) ont été conservées par sécurité, en ce qui concerne la résistance à la rupture, les valeurs de 92 000 psi pour J 55, 105 000 psi pour N 80 et 120 000 psi pour P 105 ont été admises.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES TUBING A JOINT HARDY GRIFFIN

TUBE						JOINT					
						Types AJ et DS			Types AJS et DSS		
Diamètre extérieur (in)	Diamètre extérieur (mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Diamètre du mandrin (mm)	Diamètre extérieur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Long. filet. mâle (mm)	Diamètre extérieur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Long. filet. mâle (mm)
1,050	26,7	1,20	2,87	20,9	18,5	33,4	20,9	38,1			
1,315	33,4	1,80	3,38	26,6	24,3	38,6	26,6	39,7	39,4	24,6	39,7
1,660	42,2	2,40	3,56	35,1	32,7	47,2	35,1	46,0	47,8	33,0	46,0
1,900	48,3	2,90	3,68	40,9	38,5	53,2	40,9	50,8	53,7	38,9	50,8
2	50,8	3,30	4,19	42,4	40,0				58,9	42,4	55,6
2,063	52,4	3,40	3,96	44,5	42,1	57,4	44,5	55,6	59,2	43,2	55,6
2 3/8	60,3	4,70 5,30 5,95 6,20 7,70	4,83 5,54 6,45 6,63 8,53	50,7 49,3 47,4 47,1 43,3	48,3 46,9 45,0 44,7 40,9	65,9	50,7	69,9	68,6 68,6 71,1 71,1 73,7	49,4 48,0 45,9 45,6 41,7	69,9 69,9 69,9 69,9 69,9
2 7/8	73,0	6,50 7,90 8,70 8,90 9,50 10,40 11,00 11,65	5,51 7,01 7,82 8,03 8,64 9,20 10,29 11,18	62,0 59,0 57,4 57,0 55,8 54,6 52,5 50,7	59,6 56,6 55,0 54,6 53,4 52,3 50,1 48,3	80,2	62,0	76,2	81,8 85,3 87,4 87,4 88,9 88,9 92,1 92,1	60,3 57,5 55,9 55,4 54,1 53,0 50,8 49,4	76,2 76,2 76,2 76,2 76,2 76,2 76,2 76,2
3 1/2	88,9	9,30 10,30 13,30	6,45 7,34 9,35	76,0 74,2 70,2	72,8 71,0 67,0	96,9	76,0	85,7	98,2 100,0 102,9	74,2 73,1 68,6	85,7 85,7 85,7
4	101,6	9,40 10,80 11,60 13,30	5,74 6,65 7,26 8,38	90,1 88,3 87,1 84,8	86,9 85,1 83,9 81,7				109,9 111,1 112,3 114,3	88,6 86,8 85,6 83,1	88,9 88,9 88,9 88,9
4 1/2	114,3	12,60 15,40 16,90 19,20	6,88 8,56 9,47 10,92	100,5 97,2 95,4 92,5	97,4 94,0 92,2 89,3				124,2 127,0 128,3 130,6	99,0 95,7 93,8 90,7	92,1 92,1 92,1 92,1

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A JOINT HARDY GRIFFIN

Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm²)	Epreuve hydraulique (kgf/cm²)	Corps du tube		Efficience du joint		Couple de serrage (m.kgf)
						Limite élastique (tf)	Résistance à la traction (tf)	DS (%)	DSS (%)	
1,050 (26,7)	1,20	2,87	J 55 N 80	659 912	668 703	8,2 12,0	13,8 15,8	128	-	20-35
1,315 (33,4)	1,80	3,38	J 55 N 80	623 863	626 703	12,3 17,9	20,6 23,5	102	120	20-40
1,660 (42,2)	2,40	3,56	J 55 N 80	529 733	520 703	16,6 24,2	27,8 31,8	102	111	30-55
1,900 (48,3)	2,90	3,68	J 55 N 80	483 669	471 689	19,9 29,0	33,3 38,0	102	110	55-75
2 (50,8)	3,30	4,19	J 55 N 80	- -	- -	23,7 34,5	39,6 45,3	-	121	75-125
2,063 (52,4)	3,40	3,96	J 55 N 80	479 664	471 675	23,3 33,9	39,0 44,5	102	115	70-95
2 3/8 (60,3)	4,70	4,83	J 55 N 80 P 105	505 699 931	492 703 942	32,5 47,3 62,1	54,4 62,1 70,9	102	114	100-125
	5,30	5,54	J 55 N 80 P 105	572 747 1 011	- - -	36,8 53,6 70,3	61,6 70,3 80,4	-	111	100-140
	5,95	6,45	J 55 N 80 P 105	655 906 1 208	- 703 1 265	42,2 61,4 80,6	70,6 80,6 92,1	-	112	110-150
	6,20	6,63	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	43,2 62,9 82,5	72,3 82,5 94,3	-	110	110-150
	7,70	8,53	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	53,6 78,1 102,5	89,8 102,5 117,1	-	109	110-150

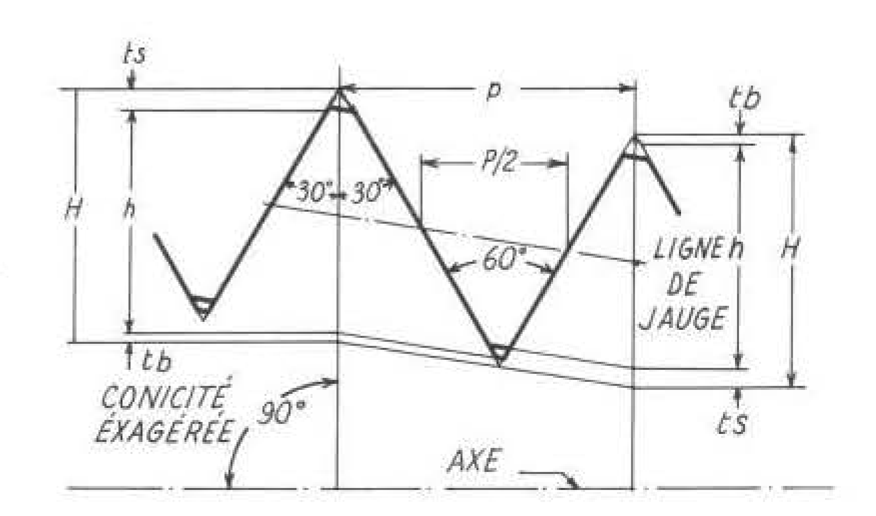
CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A JOINT HARDY GRIFFIN (suite)

Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm²)	Epreuve hydraulique (kgf/cm²)	Corps du tube		Efficience du joint		Couple de serrage (m.kgf)
						Limite élastique (tf)	Résistance à la traction (tf)	DS (%)	DSS (%)	
2 7/8 (73,0)	6,50	5,51	J 55 N 80 P 105	478 662 883	464 682 893	45,2 65,7 86,3	75,6 86,3 98,6	102	115	130-165
	7,90	7,01	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	56,2 81,7 107,3	94,0 107,3 122,6	-	110	140-180
	8,70	7,82	J 55 N 80 P 105	655 908 1 211	- 703 1 265	61,9 90,1 118,2	103,6 118,2 135,1	-	109	140-180
	8,90	8,03	J 55 N 80 P 105	671 878 1 187	- - -	63,3 92,1 120,9	106,0 120,9 138,2	-	109	140-180
	9,50	8,64	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	67,5 98,2 128,9	112,9 128,9 147,3	-	109	140-180
	10,40	9,20	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	71,2 103,7 136,1	119,2 136,1 155,5	-	108	140-180
	11,00	10,29	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	78,4 114,0 149,6	131,1 149,6 171,0	-	107	140-180
	11,65	11,18	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	83,9 122,1 160,3	140,4 160,3 183,2	-	105	140-180

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUBING A JOINT HARDY GRIFFIN (suite)

Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Epaisseur (mm)	Nuance d'acier	Résistance à l'écrasement (kgf/cm²)	Epreuve hydraulique (kgf/cm²)	Corps du tube		Efficience du joint		Couple de serrage (m.kgf)
						Limite élastique (tf)	Résistance à la traction (tf)	DS (%)	DSS (%)	
3 1/2 (88,9)	9,30	6,45	J 55 N 80 P 105	461 638 851	450 654 858	64,6 93,9 123,3	108,0 123,3 140,9	102	114	140-180
	10,30	7,34	J 55 N 80 P 105	520 719 919	513 703 -	72,7 105,7 138,8	121,6 138,8 158,6	-	109	150-190
	13,30	9,35	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	90,3 131,3 172,4	151,1 172,4 197,0	-	109	150-190
4 (101,6)	9,40	5,74	J 55 N 80 P 105	327 430 576	351 506 -	66,8 97,2 127,6	111,8 127,6 145,8	-	114	165-220
	10,80	6,65	J 55 N 80 P 105	404 547 709	408 591 -	76,7 111,6 146,5	128,3 146,5 167,4	-	111	165-220
	11,60	7,26	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	83,2 121,0 158,9	139,2 158,9 181,6	-	111	165-220
	13,30	8,38	J 55 N 80 P 105	519 679 918	- - -	94,9 138,0 181,2	158,7 181,2 207,0	-	111	165-220
4 1/2 (114,3)	12,60	6,88	J 55 N 80 P 105	359 479 635	373 541 -	89,8 130,6 171,4	150,2 171,4 195,9	-	112	165-220
	15,40	8,56	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	109,9 159,9 209,9	183,9 209,9 239,9	-	109	165-220
	16,90	9,47	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	120,6 175,4 230,3	201,8 230,3 263,2	-	108	165-220
	19,20	10,92	J 55 N 80 P 105	- - -	- - -	137,1 199,5 261,8	229,4 261,8 299,2	-	108	165-220

FORME DU FILETAGE LINE PIPE A.P.I.



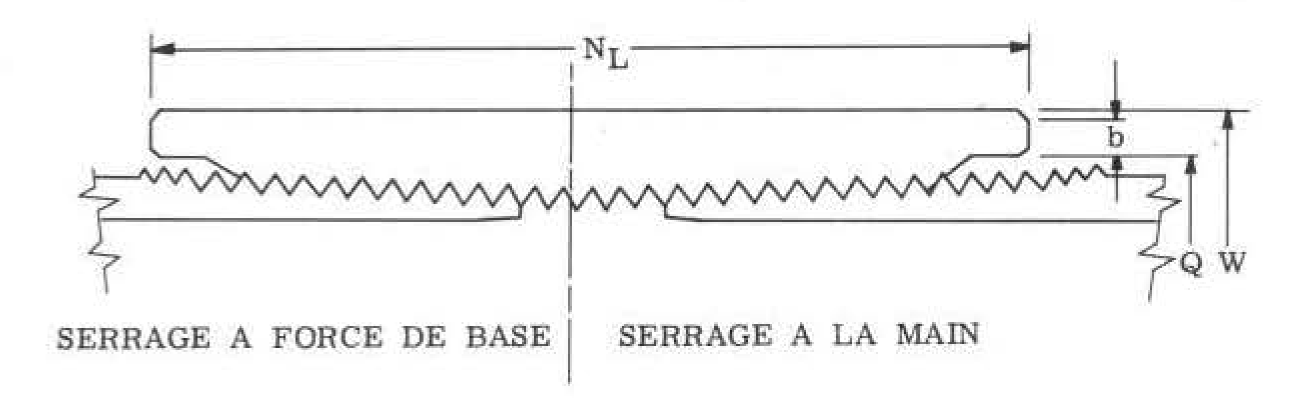
Conicité : 6,25 %

Eléments du filet	27 filets par pouce p = 0,940	18 filets par pouce p = 1,412	14 filets par pouce p = 1,814	11 filets 1/2 par pouce p = 2,210	8 filets par pouce p = 3,175
H = 0,866 p	0,815	1,222	1,572	1,913	2,748
h = 0,760 p	0,714	1,072	1,379	1,679	2,413
tb = 0,033 p	0,030	0,046	0,061	0,074	0,104
ts = 0,073 p	0,069	0,104	0,132	0,160	0,231

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE FILETÉS DE POIDS STANDARD
mars 1965

Dimension nominale	Diamètre extérieur	Poids nominal fileté et manchonné	Epaisseur		Diamètre intérieur	Poids calculé extrémités lisses	Supplément de poids pour finition des extrémités	Pression d'épreuve minimale		
								Soudé par rapprochement	Grade A	Grade B
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(in)	(mm)	(mm)	(kgf/m)	(kgf)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)
1/8	10,3	0,25	0,068	1,73	6,8	0,36	0,09	49	49	49
1/4	13,7	0,43	0,088	2,24	9,2	0,63	0,09	49	49	49
3/8	17,1	0,57	0,091	2,31	12,5	0,85	0,09	49	49	49
1/2	21,3	0,86	0,109	2,77	15,8	1,26	0,09	49	49	49
3/4	26,7	1,14	0,113	2,87	21,0	1,68	0,09	49	49	49
1	33,4	1,70	0,133	3,38	26,6	2,50	0,09	49	49	49
1 1/4	42,2	2,30	0,140	3,56	35,1	3,38	0,27	70	70	77
1 1/2	48,3	2,75	0,145	3,68	40,9	4,05	0,18	70	70	77
2	60,3	3,75	0,154	3,91	52,5	5,43	0,54	70	70	77
2 1/2	73,0	5,90	0,203	5,16	62,7	8,62	0,82	70	70	77
3	88,9	7,70	0,216	5,49	77,9	11,28	0,82	70	70	77
3 1/2	101,6	9,25	0,226	5,74	90,1	13,56	1,45	84	84	91
4	114,3	11,00	0,237	6,02	102,3	16,06	2,00	84	84	91
5	141,3	15,00	0,258	6,55	128,2	21,76	2,54	-	84	91
6	168,3	19,45	0,280	7,11	154,1	28,23	3,27	-	84	91
8	219,1	25,55	0,277	7,04	205,0	36,76	6,72	-	84	91
8	219,1	29,35	0,322	8,18	202,7	42,49	6,36	-	91	112
10	273,0	32,75	0,279	7,09	258,8	46,43	0,08	-	70	84
10	273,0	35,75	0,307	7,80	257,4	50,96	8,72	-	70	84
10	273,0	41,85	0,365	9,27	254,5	60,24	7,90	-	84	98
12	323,8	45,45	0,330	8,38	307,0	65,14	14,80	-	70	84
12	323,8	51,15	0,375	9,52	304,8	73,76	13,98	-	77	84
14 D	355,6	57,00	0,375	9,52	336,6	81,21	11,17	-	67	77
16 D	406,4	65,30	0,375	9,52	387,4	93,13	13,62	-	60	70
18 D	457,2	73,00	0,375	9,52	438,2	105,05	16,16	-	53	63
20 D	508,0	81,00	0,375	9,52	489,0	116,97	19,07	-	49	56

CARACTÉRISTIQUES DES MANCHONS POUR TUBES LINE PIPE FILETÉS
mars 1965



Dimension nominale (in)	Diamètre extérieur du manchon W (mm)	Longueur NL (mm)	Diamètre de la chambre Q (mm)	Largeur de la face portante b (mm)	Poids calculé du manchon (kg)
1/8	14,3	27,0	11,9	0,8	0,02
1/4	18,3	41,3	15,3	0,8	0,04
3/8	22,2	41,3	18,8	0,8	0,06
1/2	27,0	54,0	22,9	1,6	0,11
3/4	33,4	54,0	28,3	1,6	0,15
1	40,0	66,7	35,0	2,4	0,25
1 1/4	52,2	69,8	43,8	2,4	0,47
1 1/2	55,9	69,8	49,9	2,4	0,41
2	73,0	73,0	62,7	3,2	0,84
2 1/2	85,7	104,8	75,4	4,8	1,48
3	101,6	108,0	91,3	4,8	1,86
3 1/2	117,5	111,1	104,0	4,8	2,69
4	132,1	114,3	116,7	6,4	3,45
5	159,9	117,5	143,7	6,4	4,53
6	187,7	123,8	170,7	6,4	5,87
8	244,5	133,4	221,5	6,4	10,52
10	298,4	146,0	275,4	9,5	14,32
12	355,6	155,6	326,2	9,5	22,37
14D	381,0	161,9	358,0	9,5	20,81
16D	431,8	171,4	408,8	9,5	25,35
18D	482,6	181,0	459,6	9,5	30,20
20D	533,4	193,7	510,4	9,5	36,03

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES DE POIDS STANDARD
mars 1965

Dimension nominale (in)	Diamètre extérieur (mm)	Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur (mm)	Pression d'épreuve minimale		
		(lbf/ft)	(kgf/in)	(in)	(mm)		Soudé par rapprochement (kgf/cm2)	Grade A (kgf/cm2)	Grade B (kgf/cm2)
1/8	10,3	0,24	0,36	0,068	1,73	6,8	49	49	49
1/4	13,7	0,42	0,63	0,088	2,24	9,2	49	49	49
3/8	17,1	0,57	0,85	0,091	2,31	12,5	49	49	49
1/2	21,3	0,85	1,26	0,109	2,77	15,8	49	49	49
3/4	26,7	1,13	1,68	0,113	2,87	21,0	49	49	49
1	33,4	1,68	2,50	0,133	3,38	26,6	49	49	49
1 1/4	42,2	2,27	3,38	0,140	3,56	35,1	70	84	91
1 1/2	48,3	2,72	4,05	0,145	3,68	40,9	70	84	91
2	60,3	3,65	5,43	0,154	3,91	52,5	70	84	91
2 1/2	73,0	5,79	8,62	0,203	5,16	62,7	70	84	91
3	88,9	7,58	11,28	0,216	5,49	77,9	70	-	-
3 1/2	101,6	9,11	13,56	0,226	5,74	90,1	84	-	-
4	114,3	10,79	16,06	0,237	6,02	102,3	84	-	-

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES DE POIDS "REGULAR" ET "SPECIAL"

mars 1965

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale				
							Grade A		Grade B		Soudé par rapprochement (kgf/cm2)
							Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)					
3 1/2	88,9	4,51	6,71	0,125	3,18	82,5	91	-	105	-	-
3 1/2	88,9	5,58	8,30	0,156	3,96	81,0	112	-	134	-	-
3 1/2	88,9	6,63	9,87	0,188	4,78	79,3	134	-	155	-	70
3 1/2	88,9	7,58	11,28	0,216	5,49	77,9	155	-	176	-	-
3 1/2	88,9	8,68	12,92	0,250	6,35	76,2	176	-	176	-	-
3 1/2	88,9	9,67	14,39	0,281	7,14	74,6	176	-	176	-	-
4	101,6	5,17	7,69	0,125	3,18	95,2	77	-	91	-	-
4	101,6	6,41	9,54	0,156	3,96	93,7	98	-	112	-	-
4	101,6	7,63	11,35	0,188	4,78	92,0	120	-	141	-	84
4	101,6	9,11	13,56	0,226	5,74	90,1	141	-	169	-	-
4	101,6	10,01	14,90	0,250	6,35	88,9	155	-	176	-	-
4	101,6	11,17	16,62	0,281	7,14	87,3	176	-	176	-	-
4 1/2	114,3	5,84	8,69	0,125	3,18	107,9	70	-	84	-	56
4 1/2	114,3	6,55	9,75	0,141	3,58	107,1	77	-	91	-	-
4 1/2	114,3	7,25	10,79	0,156	3,96	106,4	84	-	105	-	70
4 1/2	114,3	7,94	11,82	0,172	4,37	105,6	98	-	112	-	-
4 1/2	114,3	8,64	12,86	0,188	4,78	104,7	105	-	127	-	84
4 1/2	114,3	9,32	13,87	0,203	5,16	104,0	112	-	134	-	-
4 1/2	114,3	10,00	14,88	0,219	5,56	103,2	120	-	141	-	84
4 1/2	114,3	10,79	16,06	0,237	6,02	102,3	134	-	155	-	-
4 1/2	114,3	11,35	16,89	0,250	6,35	101,6	141	-	162	-	-
4 1/2	114,3	12,67	18,86	0,281	7,14	100,0	155	-	176	-	-
4 1/2	114,3	13,98	20,81	0,312	7,92	98,5	176	-	176	-	-
4 1/2	114,3	18,98	28,25	0,438	11,13	92,0	176	-	176	-	-
4 1/2	114,3	22,52	33,51	0,531	13,49	87,3	176	-	176	-	-
5 9/16	141,3	9,02	13,42	0,156	3,96	133,4	70	-	84	-	-
5 9/16	141,3	10,76	16,01	0,188	4,78	131,7	84	-	98	-	-
5 9/16	141,3	12,49	18,59	0,219	5,56	130,2	98	-	120	-	-
5 9/16	141,3	14,62	21,76	0,258	6,55	128,2	120	-	134	-	-
5 9/16	141,3	15,87	23,62	0,281	7,14	127,0	127	-	148	-	-
5 9/16	141,3	17,52	26,07	0,312	7,92	125,5	141	-	169	-	-
5 9/16	141,3	19,16	28,51	0,344	8,74	123,8	155	-	176	-	-
5 9/16	141,3	27,04	40,24	0,500	12,70	115,9	176	-	176	-	-
5 9/16	141,3	32,96	49,05	0,625	15,88	109,5	176	-	176	-	-
6 5/8	168,3	8,68	12,92	0,125	3,18	161,9	49	60	56	70	-
6 5/8	168,3	9,74	14,50	0,141	3,58	161,1	53	67	63	77	-
6 5/8	168,3	10,79	16,06	0,156	3,96	160,4	60	77	70	84	-
6 5/8	168,3	11,85	17,64	0,172	4,37	159,6	67	91	77	98	-
6 5/8	168,3	12,89	19,18	0,188	4,78	158,7	70	84	84	105	-
6 5/8	168,3	13,92	20,72	0,203	5,16	158,0	77	98	91	112	-
6 5/8	168,3	14,97	22,28	0,219	5,56	157,2	84	105	98	120	-
6 5/8	168,3	17,02	25,33	0,250	6,35	155,6	98	120	112	141	-
6 5/8	168,3	18,97	28,23	0,280	7,11	154,1	105	134	127	155	-
6 5/8	168,3	21,07	31,36	0,312	7,92	152,5	120	148	141	176	-
6 5/8	168,3	23,06	34,32	0,344	8,74	150,8	134	162	155	176	-
6 5/8	168,3	25,03	37,25	0,375	9,52	149,3	141	176	169	176	-
6 5/8	168,3	32,71	48,68	0,500	12,70	142,9	176	176	176	176	-
6 5/8	168,3	36,42	54,20	0,562	14,27	139,8	176	176	176	176	-
6 5/8	168,3	40,05	59,60	0,625	15,88	136,5	176	176	176	176	-
6 5/8	168,3	45,34	67,47	0,719	18,26	131,8	176	176	176	176	-

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES DE POIDS "REGULAR" ET "SPECIAL" mars 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale			
							Grade A		Grade B	
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)
8 5/8	219,1	16,90	25,15	0,188	4,78	209,5	56	70	63	77
8 5/8	219,1	19,64	29,23	0,219	5,56	208,0	63	77	77	91
8 5/8	219,1	22,36	33,28	0,250	6,35	206,4	70	91	84	105
8 5/8	219,1	24,70	36,76	0,277	7,04	205,0	84	98	91	120
8 5/8	219,1	27,74	41,28	0,312	7,92	203,3	91	112	105	134
8 5/8	219,1	28,55	42,49	0,322	8,18	202,7	91	120	112	141
8 5/8	219,1	30,40	45,24	0,344	8,74	201,6	98	127	120	148
8 5/8	219,1	33,04	49,17	0,375	9,52	200,1	112	141	127	162
8 5/8	219,1	38,26	56,94	0,438	11,13	196,8	127	162	148	176
8 5/8	219,1	48,44	72,09	0,562	14,27	190,6	162	176	176	176
8 5/8	219,1	53,40	79,47	0,625	15,88	187,3	176	176	176	176
8 5/8	219,1	60,69	90,32	0,719	18,26	182,6	176	176	176	176
10 3/4	273,0	21,15	31,48	0,188	4,78	263,4	46	56	53	63
10 3/4	273,0	24,60	36,61	0,219	5,56	261,9	53	63	60	77
10 3/4	273,0	28,04	41,73	0,250	6,35	260,3	60	70	70	84
10 3/4	273,0	31,20	46,43	0,279	7,09	258,8	70	84	84	98
10 3/4	273,0	34,24	50,96	0,307	7,80	257,4	70	91	84	105
10 3/4	273,0	38,20	56,85	0,344	8,74	255,5	77	98	91	120
10 3/4	273,0	40,48	60,24	0,365	9,27	254,5	84	105	98	127
10 3/4	273,0	48,19	71,72	0,438	11,13	250,7	105	127	120	148
10 3/4	273,0	61,20	91,08	0,562	14,27	244,5	134	169	155	176
10 3/4	273,0	67,59	100,59	0,625	15,88	241,2	148	176	169	176
10 3/4	273,0	77,00	114,59	0,719	18,26	236,5	169	176	176	176
10 3/4	273,0	86,23	128,33	0,812	20,62	231,8	176	176	176	176
12 3/4	323,8	25,16	37,44	0,188	4,78	314,2	39	46	42	53
12 3/4	323,8	29,28	43,57	0,219	5,56	312,7	42	53	49	63
12 3/4	323,8	33,38	49,68	0,250	6,35	311,1	49	63	56	70
12 3/4	323,8	37,45	55,73	0,281	7,14	309,5	56	70	67	84
12 3/4	323,8	41,51	61,78	0,312	7,92	308,0	63	77	70	91
12 3/4	323,8	43,77	65,14	0,330	8,38	307,0	70	84	84	98
12 3/4	323,8	45,55	67,79	0,344	8,74	306,3	70	84	84	98
12 3/4	323,8	49,56	73,76	0,375	9,52	304,8	77	91	84	105
12 3/4	323,8	57,53	85,62	0,438	11,13	301,5	84	105	98	127
12 3/4	323,8	73,22	108,97	0,562	14,27	295,3	112	141	134	162
12 3/4	323,8	80,94	120,45	0,625	15,88	292,0	127	155	148	176
12 3/4	323,8	88,57	131,81	0,688	17,48	288,8	134	169	162	176
12 3/4	323,8	96,12	143,05	0,750	19,05	285,7	148	176	176	176
14	355,6	36,71	54,63	0,250	6,35	342,9	46	56	53	67
14	355,6	41,21	61,33	0,281	7,14	341,3	49	63	60	77
14	355,6	45,68	67,98	0,312	7,92	339,8	56	70	67	84
14	355,6	50,14	74,62	0,344	8,74	338,1	63	77	70	91
14	355,6	54,57	81,21	0,375	9,52	336,6	67	84	77	98
14	355,6	63,37	94,31	0,438	11,13	333,3	77	98	91	112
14	355,6	72,09	107,28	0,500	12,70	330,2	91	112	105	134
14	355,6	80,73	120,14	0,562	14,27	327,1	98	127	120	148
14	355,6	89,28	132,87	0,625	15,88	323,8	112	141	134	162
14	355,6	97,75	145,47	0,688	17,48	320,6	127	155	148	176
14	355,6	106,13	157,94	0,750	19,05	317,5	134	169	155	176
14	355,6	114,44	170,31	0,812	20,62	314,4	148	176	169	176

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES DE POIDS "REGULAR" ET "SPECIAL" mars 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale			
							Grade A		Grade B	
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)
16	406,4	42,05	62,58	0,250	6,35	393,7	39	49	46	56
16	406,4	47,22	70,27	0,281	7,14	392,1	46	56	53	63
16	406,4	52,36	77,92	0,312	7,92	390,6	49	63	56	70
16	406,4	57,48	85,54	0,344	8,74	388,9	53	67	63	77
16	406,4	62,58	93,13	0,375	9,52	387,4	60	77	70	84
16	406,4	72,72	108,22	0,438	11,13	384,1	70	84	77	98
16	406,4	82,77	123,18	0,500	12,70	381,0	77	98	91	112
16	406,4	92,74	138,02	0,562	14,27	377,9	91	112	105	127
16	406,4	102,63	152,73	0,625	15,88	374,6	98	127	112	148
16	406,4	112,43	167,32	0,688	17,48	371,4	105	134	127	162
16	406,4	122,15	181,78	0,750	19,05	368,3	120	148	141	176
16	406,4	131,79	196,13	0,812	20,62	365,2	127	162	148	176
18	457,2	47,39	70,53	0,250	6,35	444,5	35	42	42	53
18	457,2	53,22	79,20	0,281	7,14	442,9	39	49	46	56
18	457,2	59,03	87,85	0,312	7,92	441,4	42	56	53	63
18	457,2	64,82	96,47	0,344	8,74	439,7	49	60	56	70
18	457,2	70,59	105,05	0,375	9,52	438,2	53	67	63	77
18	457,2	82,06	122,12	0,438	11,13	434,9	63	77	70	91
18	457,2	93,45	139,07	0,500	12,70	431,8	70	84	84	105
18	457,2	104,76	155,90	0,562	14,27	428,7	77	98	91	112
18	457,2	115,98	172,60	0,625	15,88	425,4	84	112	105	127
18	457,2	127,12	189,18	0,688	17,48	422,2	98	120	112	141
18	457,2	138,17	205,62	0,750	19,05	419,1	105	134	127	155
18	457,2	149,15	221,97	0,812	20,62	416,0	112	141	134	169
20	508,0	52,73	78,47	0,250	6,35	495,3	32	39	35	46
20	508,0	59,23	88,15	0,281	7,14	493,7	35	46	42	53
20	508,0	65,71	97,79	0,312	7,92	492,2	39	49	46	56
20	508,0	72,16	107,39	0,344	8,74	490,5	42	53	49	63
20	508,0	78,60	116,97	0,375	9,52	489,0	49	60	56	70
20	508,0	91,41	136,04	0,438	11,13	485,7	56	70	63	77
20	508,0	104,13	154,97	0,500	12,70	482,6	63	77	70	91
20	508,0	116,77	173,78	0,562	14,27	479,5	70	91	84	105
20	508,0	129,33	192,47	0,625	15,88	476,2	77	98	91	112
20	508,0	141,80	211,03	0,688	17,48	473,0	84	105	98	127
20	508,0	154,19	229,47	0,750	19,05	469,9	98	120	112	141
20	508,0	166,50	247,79	0,812	20,62	466,8	105	127	120	148
22	558,8	58,07	86,42	0,250	6,35	546,1	28	35	35	42
22	558,8	65,24	97,09	0,281	7,14	544,5	32	39	39	46
22	558,8	72,38	107,72	0,312	7,92	543,0	35	46	42	53
22	558,8	79,51	118,33	0,344	8,74	541,3	39	49	46	56
22	558,8	86,61	128,89	0,375	9,52	539,8	42	53	49	63
22	558,8	100,75	149,94	0,438	11,13	536,5	49	63	60	70
22	558,8	114,81	170,86	0,500	12,70	533,4	56	70	67	84
22	558,8	128,79	191,67	0,562	14,27	530,3	63	77	77	91
22	558,8	142,68	212,34	0,625	15,88	527,0	70	91	84	105
22	558,8	156,49	232,89	0,688	17,48	523,8	77	98	91	112
22	558,8	170,22	253,32	0,750	19,05	520,7	84	105	98	127
22	558,8	183,86	273,62	0,812	20,62	517,6	91	120	112	134

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES DE POIDS "REGULAR" ET "SPECIAL"
mars 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale			
							Grade A		Grade B	
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Standard (kgf/cm^2)	Variante (kgf/cm^2)	Standard (kgf/cm^2)	Variante (kgf/cm^2)
24	609,6	63,41	94,37	0,250	6,35	596,9	28	32	32	39
24	609,6	71,25	106,03	0,281	7,14	595,3	28	39	35	42
24	609,6	79,06	117,66	0,312	7,92	593,8	32	42	39	49
24	609,6	86,85	129,25	0,344	8,74	592,1	35	46	42	53
24	609,6	94,62	140,81	0,375	9,52	590,6	39	49	46	56
24	609,6	110,10	163,85	0,438	11,13	587,3	46	56	53	67
24	609,6	125,49	186,75	0,500	12,70	584,2	53	67	60	77
24	609,6	140,80	209,54	0,562	14,27	581,1	60	77	70	84
24	609,6	156,03	232,20	0,625	15,88	577,8	67	84	77	98
24	609,6	171,17	254,74	0,688	17,48	574,6	70	91	84	105
24	609,6	186,24	277,16	0,750	19,05	571,5	77	98	91	112
24	609,6	201,21	299,44	0,812	20,62	568,4	84	105	98	127
26	660,4	68,75	102,31	0,250	6,35	647,7	25	30	28	35
26	660,4	77,25	114,96	0,281	7,14	646,1	28	33	32	40
26	660,4	85,73	127,58	0,312	7,92	644,6	30	39	35	44
26	660,4	94,19	140,17	0,344	8,74	642,9	33	42	39	49
26	660,4	102,63	152,73	0,375	9,52	641,4	37	46	42	53
26	660,4	119,44	177,76	0,438	11,13	638,1	42	53	49	62
26	660,4	136,17	202,65	0,500	12,70	635,0	49	63	56	70
26	660,4	152,82	227,43	0,562	14,27	631,9	54	69	63	79
26	660,4	169,38	252,07	0,625	15,88	628,6	62	77	70	88
26	660,4	185,86	276,60	0,688	17,48	625,4	67	84	77	98
26	660,4	202,26	301,00	0,750	19,05	622,3	74	91	84	107
28	711,2	110,64	164,65	0,375	9,52	692,2	33	42	39	49
28	711,2	128,79	191,67	0,438	11,13	688,9	40	49	46	58
28	711,2	146,85	218,54	0,500	12,70	685,8	46	56	53	67
28	711,2	164,83	245,30	0,562	14,27	682,7	51	63	60	74
28	711,2	182,73	271,94	0,625	15,88	679,4	56	70	65	83
30	762,0	118,65	176,57	0,375	9,52	743,0	32	40	37	46
30	762,0	138,13	205,57	0,438	11,13	739,7	37	46	44	54
30	762,0	157,53	234,44	0,500	12,70	736,6	42	53	49	62
30	762,0	176,85	263,19	0,562	14,27	733,5	47	60	54	69
30	762,0	196,08	291,81	0,625	15,88	730,2	53	67	62	77
32	812,8	126,66	188,50	0,375	9,52	793,8	30	37	35	44
32	812,8	147,48	219,48	0,438	11,13	790,5	35	44	40	51
32	812,8	168,21	250,33	0,500	12,70	787,4	39	49	46	58
32	812,8	188,86	281,06	0,562	14,27	784,3	44	56	53	65
32	812,8	209,43	311,67	0,625	15,88	781,0	49	62	58	72
34	863,6	134,67	200,42	0,375	9,52	844,6	28	35	33	40
34	863,6	156,82	233,38	0,438	11,13	841,3	33	40	39	47
34	863,6	178,89	266,22	0,500	12,70	838,2	37	46	44	54
34	863,6	200,88	298,95	0,562	14,27	835,1	42	53	49	62
34	863,6	222,78	331,54	0,625	15,88	831,8	46	58	54	69
36	914,4	142,68	212,34	0,375	9,52	895,4	26	33	32	39
36	914,4	166,17	247,29	0,438	11,13	892,1	32	39	35	46
36	914,4	189,57	282,12	0,500	12,70	889,0	35	44	40	51
36	914,4	212,89	316,82	0,562	14,27	885,9	39	49	46	58
36	914,4	236,13	351,41	0,625	15,88	882,6	44	54	51	63

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES "EXTRA-STRONG" mars 1965

Dimension nominale	Diamètre extérieur	Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale		
							Soudé par rapprochement	Grade A	Grade B
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)
1/8	10,3	0,31	0,46	0,095	2,41	5,5	60	60	60
1/4	13,7	0,54	0,80	0,119	3,02	7,7	60	60	60
3/8	17,1	0,74	1,10	0,126	3,20	10,7	60	60	60
1/2	21,3	1,09	1,62	0,147	3,73	13,8	60	60	60
3/4	26,7	1,47	2,19	0,154	3,91	18,9	60	60	60
1	33,4	2,17	3,23	0,179	4,55	24,3	60	60	60
1 1/4	42,2	3,00	4,46	0,191	4,85	32,5	91	127	134
1 1/2	48,3	3,63	5,40	0,200	5,08	38,1	91	127	134
2	60,3	5,02	7,47	0,218	5,54	49,2	91	127	134
2 1/2	73,0	7,66	11,40	0,276	7,01	59,0	91	127	134
3	88,9	10,25	15,25	0,300	7,62	73,7	91	176	176
3 1/2	101,6	12,51	18,62	0,318	8,08	85,4	120	176	176
4	114,3	14,98	22,29	0,337	8,56	97,2	120	176	176
5	141,3	20,78	30,92	0,375	9,52	122,3	-	169	176
6	168,3	28,57	42,52	0,432	10,97	146,4	-	162	176
8	219,1	43,39	64,57	0,500	12,70	193,7	-	148	169
10	273,0	54,74	81,46	0,500	12,70	247,6	-	120	141
12	323,8	65,42	97,36	0,500	12,70	298,4	-	98	112

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES "DOUBLE EXTRA-STRONG" mars 1965

Dimension nominale (in)	Diamètre extérieur (mm)	Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur (mm)	Pression d'épreuve minimale		
		(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)		Soudé par rapprochement (kgf/cm^2)	Grade A (kgf/cm^2)	Grade B (kgf/cm^2)
1/2	21,3	1,71	2,54	0,294	7,47	6,4	70	70	70
3/4	26,7	2,44	3,63	0,308	7,82	11,1	70	70	70
1	33,4	3,66	5,45	0,358	9,09	15,2	70	70	70
1 1/4	42,2	5,21	7,75	0,382	9,70	22,8	98	155	162
1 1/2	48,3	6,41	9,54	0,400	10,16	28,0	98	155	162
2	60,3	9,03	13,44	0,436	11,07	38,2	98	155	162
2 1/2	73,0	13,70	20,39	0,552	14,02	45,0	98	155	162
3	88,9	18,58	27,65	0,600	15,24	58,4	-	176	176
4	114,3	27,54	40,99	0,674	17,12	80,1	-	176	176
5	141,3	38,55	57,37	0,750	19,05	103,2	-	176	176
6	168,3	53,16	79,11	0,864	21,95	124,4	-	176	176
8	219,1	72,42	107,78	0,875	22,22	174,7	-	176	176

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES A HAUTE RÉSISTANCE
mars 1965

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale					
							Grade X42		Grade X46		Grade X52	
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)
4 1/2	114,3	5,84	8,69	0,125	3,18	107,9	99	124	108	135	122	153
4 1/2	114,3	6,55	9,75	0,141	3,58	107,1	111	139	122	153	138	172
4 1/2	114,3	7,25	10,79	0,156	3,96	106,4	123	154	135	169	153	191
4 1/2	114,3	7,94	11,82	0,172	4,37	105,6	136	169	148	186	168	210
4 1/2	114,3	8,64	12,86	0,188	4,78	104,7	148	186	162	203	183	211
4 1/2	114,3	9,32	13,87	0,203	5,16	104,0	160	200	176	211	198	211
4 1/2	114,3	10,00	14,88	0,219	5,56	103,2	178	211	189	211	211	211
4 1/2	114,3	10,79	16,06	0,237	6,02	102,3	187	211	205	211	211	211
4 1/2	114,3	11,35	16,89	0,250	6,35	101,6	198	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	12,67	18,86	0,281	7,14	100,0	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	13,98	20,81	0,312	7,92	98,5	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	14,98	22,29	0,337	8,56	97,2	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	18,98	28,25	0,438	11,13	92,0	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	22,52	33,51	0,531	13,49	87,3	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	27,54	40,99	0,674	17,12	80,1	211	211	211	211	211	211
6 5/8	168,3	8,68	12,92	0,125	3,18	161,9	84	-	92	-	104	-
6 5/8	168,3	9,74	14,50	0,141	3,58	161,1	95	-	103	-	117	-
6 5/8	168,3	10,79	16,06	0,156	3,96	160,4	105	-	115	-	129	-
6 5/8	168,3	11,85	17,64	0,172	4,37	159,6	115	-	127	-	143	-
6 5/8	168,3	12,89	19,18	0,188	4,78	158,7	126	-	138	-	156	-
6 5/8	168,3	13,92	20,72	0,203	5,16	158,0	136	-	149	-	168	-
6 5/8	168,3	14,97	22,28	0,219	5,56	157,2	147	-	161	-	181	-
6 5/8	168,3	17,02	25,33	0,250	6,35	155,6	167	-	183	-	207	-
6 5/8	168,3	18,97	28,23	0,280	7,11	154,1	188	-	205	-	211	-
6 5/8	168,3	21,07	31,36	0,312	7,92	152,5	209	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	23,06	34,32	0,344	8,74	150,8	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	25,03	37,25	0,375	9,52	149,3	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	28,57	42,52	0,432	10,97	146,4	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	32,71	48,68	0,500	12,70	142,9	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	36,42	54,20	0,562	14,27	139,8	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	40,05	59,60	0,625	15,88	136,5	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	45,34	67,47	0,719	18,26	131,8	211	-	211	-	211	-
8 5/8	219,1	16,90	25,15	0,188	4,78	209,5	97	-	106	-	120	-
8 5/8	219,1	18,27	27,19	0,203	5,16	208,8	105	-	115	-	129	-
8 5/8	219,1	19,64	29,23	0,219	5,56	208,0	112	-	124	-	140	-
8 5/8	219,1	22,36	33,28	0,250	6,35	206,4	129	-	141	-	160	-
8 5/8	219,1	24,70	36,76	0,277	7,04	205,0	143	-	156	-	176	-
8 5/8	219,1	27,74	41,28	0,312	7,92	203,3	160	-	176	-	199	-
8 5/8	219,1	28,55	42,49	0,322	8,18	202,7	166	-	181	-	205	-
8 5/8	219,1	30,40	45,24	0,344	8,74	201,6	177	-	194	-	211	-
8 5/8	219,1	33,04	49,17	0,375	9,52	200,1	193	-	211	-	211	-
8 5/8	219,1	38,26	56,94	0,438	11,13	196,8	211	-	211	-	211	-
8 5/8	219,1	43,39	64,57	0,500	12,70	193,7	211	-	211	-	211	-
8 5/8	219,1	48,44	72,09	0,562	14,27	190,6	211	-	211	-	211	-
8 5/8	219,1	53,40	79,47	0,625	15,88	187,3	211	-	211	-	211	-
8 5/8	219,1	60,69	90,32	0,719	18,26	182,6	211	-	211	-	211	-

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES
A HAUTE RÉSISTANCE
mars 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur (mm)	Pression d'épreuve minimale		
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)		Grade X42 (kgf/cm²)	Grade X46 (kgf/cm²)	Grade X52 (kgf/cm²)
10 3/4	273,0	21,15	31,48	0,188	4,78	263,4	88	96	109
10 3/4	273,0	22,88	34,05	0,023	5,16	262,7	95	104	117
10 3/4	273,0	24,60	36,61	0,219	5,56	261,9	103	112	127
10 3/4	273,0	28,04	41,73	0,250	6,35	260,3	117	128	145
10 3/4	273,0	31,20	46,43	0,279	7,09	258,8	131	143	162
10 3/4	273,0	34,24	50,96	0,307	7,80	257,4	143	157	178
10 3/4	273,0	38,20	56,85	0,344	8,74	255,5	161	176	199
10 3/4	273,0	40,48	60,24	0,365	9,27	254,5	171	187	211
10 3/4	273,0	48,19	71,72	0,438	11,13	250,7	205	211	211
10 3/4	273,0	54,74	81,46	0,500	12,70	247,6	211	211	211
10 3/4	273,0	61,20	91,08	0,562	14,27	244,5	211	211	211
10 3/4	273,0	67,59	100,59	0,625	15,88	241,2	211	211	211
10 3/4	273,0	77,00	114,59	0,719	18,26	236,5	211	211	211
12 3/4	323,8	25,16	37,44	0,188	4,78	314,2	75	82	92
12 3/4	323,8	27,22	40,51	0,203	5,16	313,5	80	88	99
12 3/4	323,8	29,28	43,57	0,219	5,56	312,7	86	95	107
12 3/4	323,8	33,38	49,68	0,250	6,35	311,1	99	108	122
12 3/4	323,8	37,45	55,73	0,281	7,14	309,5	111	122	137
12 3/4	323,8	41,51	61,78	0,312	7,92	308,0	123	135	153
12 3/4	323,8	43,77	65,14	0,330	8,38	307,0	130	143	161
12 3/4	323,8	45,55	67,79	0,344	8,74	306,3	136	148	168
12 3/4	323,8	49,56	73,76	0,375	9,52	304,8	148	162	183
12 3/4	323,8	53,56	79,71	0,406	10,31	303,2	160	175	198
12 3/4	323,8	57,53	85,62	0,438	11,13	301,5	173	189	211
12 3/4	323,8	65,42	97,36	0,500	12,70	298,4	198	211	211
12 3/4	323,8	73,22	108,97	0,562	14,27	295,3	211	211	211
12 3/4	323,8	80,94	120,45	0,625	15,88	292,0	211	211	211
12 3/4	323,8	88,57	131,81	0,688	17,48	288,8	211	211	211
12 3/4	323,8	96,12	143,05	0,750	19,05	285,7	211	211	211
14	355,6	30,93	46,03	0,210	5,33	344,9	76	83	93
14	355,6	32,20	47,92	0,219	5,56	344,5	79	86	98
14	355,6	36,71	54,63	0,250	6,35	342,9	90	98	111
14	355,6	41,21	61,33	0,281	7,14	341,3	101	110	125
14	355,6	45,68	67,98	0,312	7,92	339,8	112	123	139
14	355,6	50,14	74,62	0,344	8,74	338,1	124	136	153
14	355,6	54,57	81,21	0,375	9,52	336,6	135	148	167
14	355,6	58,98	87,77	0,406	10,31	335,0	146	160	181
14	355,6	63,37	94,31	0,438	11,13	333,3	157	172	195
14	355,6	67,74	100,81	0,469	11,91	331,8	169	184	209
14	355,6	72,09	107,28	0,500	12,70	330,2	179	197	211
14	355,6	80,73	120,14	0,562	14,27	327,1	202	211	211
14	355,6	89,28	132,87	0,625	15,88	323,8	211	211	211
14	355,6	97,75	145,47	0,688	17,48	320,6	211	211	211
14	355,6	106,13	157,94	0,750	19,05	317,5	211	211	211

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES A HAUTE RÉSISTANCE
mars 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale		
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Grade X42 (kgf/cm²)	Grade X46 (kgf/cm²)	Grade X52 (kgf/cm²)
16	406,4	34,25	50,97	0,203	5,16	396,1	64	70	79
16	406,4	36,87	54,87	0,219	5,56	395,3	69	76	86
16	406,4	42,05	62,58	0,250	6,35	393,7	79	86	98
16	406,4	47,22	70,27	0,281	7,14	392,1	89	97	110
16	406,4	52,36	77,92	0,312	7,92	390,6	98	108	122
16	406,4	57,48	85,54	0,344	8,74	388,9	108	119	134
16	406,4	62,58	93,13	0,375	9,52	387,4	118	129	146
16	406,4	67,66	100,69	0,406	10,31	385,8	128	140	158
16	406,4	72,72	108,22	0,438	11,13	384,1	138	151	171
16	406,4	77,75	115,71	0,469	11,91	382,6	148	162	183
16	406,4	82,77	123,18	0,500	12,70	381,0	157	172	195
16	406,4	92,74	138,02	0,562	14,27	377,9	176	193	211
16	406,4	102,63	152,73	0,625	15,88	374,6	196	211	211
16	406,4	112,43	167,32	0,688	17,48	371,4	211	211	211
16	406,4	122,15	181,78	0,750	19,05	368,3	211	211	211
18	457,2	41,54	61,82	0,219	5,56	446,1	61	67	75
18	457,2	47,39	70,53	0,250	6,35	444,5	70	77	86
18	457,2	53,22	79,20	0,281	7,14	442,9	79	86	97
18	457,2	59,03	87,85	0,312	7,92	441,4	87	96	108
18	457,2	64,82	96,47	0,344	8,74	439,7	96	105	119
18	457,2	70,59	105,05	0,375	9,52	438,2	105	115	130
18	457,2	76,34	113,61	0,406	10,31	436,6	114	124	141
18	457,2	82,06	122,12	0,438	11,13	434,9	122	134	152
18	457,2	87,77	130,62	0,469	11,91	433,4	131	143	162
18	457,2	93,45	139,07	0,500	12,70	431,8	140	153	173
18	457,2	104,76	155,90	0,562	14,27	428,7	157	172	194
18	457,2	115,98	172,60	0,625	15,88	425,4	174	191	211
18	457,2	127,12	189,18	0,688	17,48	422,2	192	210	211
18	457,2	138,17	205,62	0,750	19,05	419,1	209	211	211
18	457,2	149,15	221,97	0,812	20,62	416,0	211	211	211
20	508,0	46,21	68,77	0,219	5,56	496,9	58	64	72
20	508,0	52,73	78,47	0,250	6,35	495,3	67	73	82
20	508,0	59,23	88,15	0,281	7,14	493,7	75	82	93
20	508,0	65,71	97,79	0,312	7,92	492,2	83	91	103
20	508,0	72,16	107,39	0,344	8,74	490,5	92	101	113
20	508,0	78,60	116,97	0,375	9,52	489,0	100	110	124
20	508,0	85,01	126,51	0,406	10,31	487,4	108	119	134
20	508,0	91,41	136,04	0,438	11,13	485,7	117	128	144
20	508,0	97,78	145,52	0,469	11,91	484,2	125	137	155
20	508,0	104,13	154,97	0,500	12,70	482,6	133	146	165
20	508,0	116,77	173,78	0,562	14,27	479,5	150	164	186
20	508,0	129,33	192,47	0,625	15,88	476,2	167	182	193
20	508,0	141,80	211,03	0,688	17,48	473,0	183	193	193
20	508,0	154,19	229,47	0,750	19,05	469,9	193	193	193
20	508,0	166,50	247,79	0,812	20,62	466,8	193	193	193

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES A HAUTE RÉSISTANCE mars 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale		
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Grade X42 (kgf/cm²)	Grade X46 (kgf/cm²)	Grade X52 (kgf/cm²)
22	558,8	50,89	75,73	0,219	5,56	547,7	53	58	66
22	558,8	58,07	86,42	0,250	6,35	546,1	60	67	75
22	558,8	65,24	97,09	0,281	7,14	544,5	68	75	84
22	558,8	72,38	107,72	0,312	7,92	543,0	76	83	93
22	558,8	79,51	118,33	0,344	8,74	541,3	84	91	103
22	558,8	86,61	128,89	0,375	9,52	539,8	91	100	112
22	558,8	93,69	139,43	0,406	10,31	538,2	98	108	122
22	558,8	100,75	149,94	0,438	11,13	536,5	106	116	131
22	558,8	107,79	160,41	0,469	11,91	535,0	114	124	141
22	558,8	114,81	170,86	0,500	12,70	533,4	121	133	150
22	558,8	128,79	191,67	0,562	14,27	530,3	136	149	169
22	558,8	142,68	212,34	0,625	15,88	527,0	151	166	176
22	558,8	156,49	232,89	0,688	17,48	523,8	167	176	176
22	558,8	170,22	253,32	0,750	19,05	520,7	176	176	176
22	558,8	183,86	273,62	0,812	20,62	517,6	176	176	176
24	609,6	63,41	94,37	0,250	6,35	596,9	56	61	69
24	609,6	71,25	106,03	0,281	7,14	595,3	63	68	77
24	609,6	79,06	117,66	0,312	7,92	593,8	70	76	86
24	609,6	86,85	129,25	0,344	8,74	592,1	77	84	95
24	609,6	94,62	140,81	0,375	9,52	590,6	84	91	103
24	609,6	102,37	152,35	0,406	10,31	589,0	90	99	112
24	609,6	110,10	163,85	0,438	11,13	587,3	97	107	120
24	609,6	117,81	175,32	0,469	11,91	585,8	104	114	129
24	609,6	125,49	186,75	0,500	12,70	584,2	111	122	137
24	609,6	140,80	209,54	0,562	14,27	581,1	125	136	155
24	609,6	156,03	232,20	0,625	15,88	577,8	138	152	162
24	609,6	171,17	254,74	0,688	17,48	574,6	153	162	162
24	609,6	186,24	277,16	0,750	19,05	571,5	162	162	162
24	609,6	201,21	299,44	0,812	20,62	568,4	162	162	162
26	660,4	68,75	102,31	0,250	6,35	647,7	51	56	64
26	660,4	77,25	114,96	0,281	7,14	646,1	58	63	72
26	660,4	85,73	127,58	0,312	7,92	644,6	64	70	79
26	660,4	94,19	140,17	0,344	8,74	642,9	71	77	87
26	660,4	102,63	152,73	0,375	9,52	641,4	77	84	95
26	660,4	111,05	165,26	0,406	10,31	639,8	84	91	103
26	660,4	119,44	177,76	0,438	11,13	638,1	90	98	111
26	660,4	127,82	190,22	0,469	11,91	636,6	96	105	119
26	660,4	136,17	202,65	0,500	12,70	635,0	103	112	127
26	660,4	152,82	227,43	0,562	14,27	631,9	115	126	141
26	660,4	169,38	252,07	0,625	15,88	628,6	128	141	141
26	660,4	185,86	276,60	0,688	17,48	625,4	141	141	141
26	660,4	202,26	301,00	0,750	19,05	622,3	141	141	141

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES A HAUTE RÉSISTANCE
mars 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur (mm)	Pression d'épreuve minimale		
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)		Grade X42 (kgf/cm²)	Grade X46 (kgf/cm²)	Grade X52 (kgf/cm²)
28	711,2	74,09	110,26	0,250	6,35	698,5	48	52	59
28	711,2	83,26	123,91	0,281	7,14	696,9	53	59	66
28	711,2	92,41	137,52	0,312	7,92	695,4	60	65	74
28	711,2	101,53	151,10	0,344	8,74	693,7	65	72	82
28	711,2	110,64	164,65	0,375	9,52	692,2	72	78	89
28	711,2	119,72	178,17	0,406	10,31	690,6	77	85	96
28	711,2	128,79	191,67	0,438	11,13	688,9	84	91	103
28	711,2	137,83	205,12	0,469	11,91	687,4	89	98	110
28	711,2	146,85	218,54	0,500	12,70	685,8	96	104	118
28	711,2	164,83	245,30	0,562	14,27	682,7	107	117	132
28	711,2	182,73	271,94	0,625	15,88	679,4	119	130	141
30	762,0	79,43	118,21	0,250	6,35	749,3	44	49	55
30	762,0	89,27	132,85	0,281	7,14	747,7	50	55	62
30	762,0	99,08	147,45	0,312	7,92	746,2	56	61	69
30	762,0	108,88	162,04	0,344	8,74	744,5	61	67	76
30	762,0	118,65	176,57	0,375	9,52	743,0	67	73	82
30	762,0	128,40	191,08	0,406	10,31	741,4	72	79	89
30	762,0	138,13	205,57	0,438	11,13	739,7	78	85	96
30	762,0	147,84	220,02	0,469	11,91	738,2	84	91	103
30	762,0	157,53	234,44	0,500	12,70	736,6	89	98	110
30	762,0	176,85	263,19	0,562	14,27	733,5	100	110	124
30	762,0	196,08	291,81	0,625	15,88	730,2	111	122	137
32	812,8	84,77	126,15	0,250	6,35	800,1	42	46	52
32	812,8	95,28	141,80	0,281	7,14	798,5	47	51	58
32	812,8	105,76	157,39	0,312	7,92	797,0	52	57	65
32	812,8	116,22	172,96	0,344	8,74	795,3	58	63	71
32	812,8	126,66	188,50	0,375	9,52	793,8	63	69	77
32	812,8	137,08	204,00	0,406	10,31	792,2	67	75	84
32	812,8	147,48	219,49	0,438	11,13	790,5	73	80	91
32	812,8	157,86	234,93	0,469	11,91	789,0	78	86	97
32	812,8	168,21	250,33	0,500	12,70	787,4	84	91	103
32	812,8	188,86	281,06	0,562	14,27	784,3	93	103	116
32	812,8	209,43	311,67	0,625	15,88	781,0	104	114	129
34	863,6	90,11	134,10	0,250	6,35	850,9	39	43	49
34	863,6	101,28	150,72	0,281	7,41	849,3	44	49	55
34	863,6	112,43	167,32	0,312	7,92	847,8	49	54	60
34	863,6	123,56	183,88	0,344	8,74	846,1	54	59	67
34	863,6	134,67	200,42	0,375	9,52	844,6	59	65	73
34	863,6	145,76	216,92	0,406	10,31	843,0	64	70	79
34	863,6	156,82	233,38	0,438	11,13	841,3	69	75	85
34	863,6	167,87	249,82	0,469	11,91	839,8	74	81	91
34	863,6	178,89	266,22	0,500	12,70	838,2	79	86	97
34	863,6	200,88	298,95	0,562	14,27	835,1	88	96	109
34	863,6	222,78	331,54	0,625	15,88	831,8	98	108	122

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES A HAUTE RÉSISTANCE
mars 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale		
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Grade X42 (kgf/cm²)	Grade X46 (kgf/cm²)	Grade X52 (kgf/cm²)
36	914,4	95,45	142,05	6,250	6,35	901,7	37	41	46
36	914,4	107,29	159,67	0,281	7,14	900,1	42	46	52
36	914,4	119,11	177,26	0,312	7,92	898,6	46	51	58
36	914,4	130,90	194,81	0,344	8,74	896,9	51	56	63
36	914,4	142,68	212,34	0,375	9,52	895,4	56	61	69
36	914,4	154,43	229,82	0,406	10,31	893,8	60	66	75
36	914,4	166,17	247,29	0,438	11,13	892,1	65	71	80
36	914,4	177,88	264,72	0,469	11,91	890,6	70	76	86
36	914,4	189,57	282,12	0,500	12,70	889,0	75	82	92
36	914,4	212,89	316,82	0,562	14,27	885,9	84	91	103
36	914,4	236,13	351,41	0,625	15,88	882,6	93	101	115
38	965,2	125,78	187,19	0,312	7,92	949,4	44	48	54
38	965,2	138,25	205,74	0,344	8,74	947,7	49	53	60
38	965,2	150,69	224,26	0,375	9,52	946,2	53	58	65
38	965,2	163,11	242,74	0,406	10,31	944,6	57	63	70
38	965,2	175,51	261,19	0,438	11,13	942,9	62	67	76
38	965,2	187,89	279,62	0,469	11,91	941,4	66	72	82
38	965,2	200,25	298,01	0,500	12,70	939,8	70	77	87
38	965,2	224,91	334,71	0,562	14,27	936,7	79	86	98
38	965,2	249,48	371,28	0,625	15,88	933,4	88	96	108
40	1016,0	145,59	216,67	0,344	8,74	998,5	46	51	57
40	1016,0	158,70	236,18	0,375	9,52	997,0	50	55	62
40	1016,0	171,79	255,66	0,406	10,31	995,	54	60	67
40	1016,0	184,86	275,11	0,438	11,13	993,7	58	64	72
40	1016,0	197,91	294,53	0,469	11,91	992,2	63	69	77
40	1016,0	210,93	313,91	0,500	12,70	990,6	67	73	82
40	1016,0	236,92	352,58	0,562	14,27	987,5	75	82	93
40	1016,0	262,83	391,14	0,625	15,88	984,2	84	91	103
42	1066,8	166,71	248,10	0,375	9,52	1047,8	48	52	59
42	1066,8	180,47	268,58	0,406	10,31	1046,2	52	57	64
42	1066,8	194,20	289,01	0,438	11,13	1044,5	56	61	69
42	1066,8	207,92	309,43	0,469	11,91	1043,0	60	65	74
42	1066,8	221,61	329,80	0,500	12,70	1041,4	63	70	79
42	1066,8	248,94	370,47	0,562	14,27	1038,3	72	78	89
42	1066,8	276,18	411,01	0,625	15,88	1035,0	79	87	98

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES SOUDÉS EN SPIRALE
janvier 1965

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve minimale									
							Grade A		Grade B		Grade X42		Grade X46		Grade X52	
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)
4 1/2	114,3	5,84	8,69	0,125	3,18	107,9	70	-	84	-	99	124	108	135	122	153
4 1/2	114,3	6,55	9,75	0,141	3,58	107,1	77	-	91	-	111	139	122	153	138	172
4 1/2	114,3	7,25	10,79	0,156	3,96	106,4	84	-	105	-	123	154	135	169	153	191
4 1/2	114,3	7,94	11,82	0,172	4,37	105,6	98	-	112	-	136	169	148	186	168	210
4 1/2	114,3	8,64	12,86	0,188	4,78	104,7	105	-	127	-	148	186	162	203	183	211
4 1/2	114,3	9,32	13,87	0,203	5,16	104,0	112	-	134	-	160	200	176	211	198	211
4 1/2	114,3	10,00	14,88	0,219	5,56	103,2	120	-	141	-	178	211	189	211	211	211
4 1/2	114,3	10,79	16,06	0,237	6,02	102,3	134	-	155	-	187	211	205	211	211	211
4 1/2	114,3	11,35	16,89	0,250	6,35	101,6	141	-	162	-	198	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	12,67	18,86	0,281	7,14	100,0	155	-	176	-	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	13,98	20,81	0,312	7,92	98,5	176	-	176	-	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	14,98	22,29	0,337	8,56	97,2	176	-	176	-	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	18,98	28,25	0,438	11,13	92,0	176	-	176	-	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	22,52	33,51	0,531	13,49	87,3	176	-	176	-	211	211	211	211	211	211
4 1/2	114,3	27,54	40,99	0,674	17,12	80,1	176	-	176	-	211	211	211	211	211	211
5 9/16	141,3	9,02	13,42	0,156	3,96	133,4	70	-	84	-	100	124	109	136	123	154
5 9/16	141,3	10,76	16,01	0,188	4,78	131,7	84	-	98	-	120	150	131	165	148	186
5 9/16	141,3	12,49	18,59	0,219	5,56	130,2	98	-	120	-	140	175	153	191	173	211
5 9/16	141,3	14,62	21,76	0,258	6,55	128,2	120	-	134	-	165	206	181	211	204	211
5 9/16	141,3	15,87	23,62	0,281	7,14	127,0	127	-	148	-	179	211	196	211	211	211
5 9/16	141,3	17,52	26,07	0,312	7,92	125,5	141	-	169	-	199	211	211	211	211	211
5 9/16	141,3	19,16	28,51	0,344	8,74	123,8	155	-	176	-	211	211	211	211	211	211
5 9/16	141,3	27,04	40,24	0,500	12,70	115,9	176	-	176	-	211	211	211	211	211	211
5 9/16	141,3	32,96	49,05	0,625	15,88	109,5	176	-	176	-	211	211	211	211	211	211
6 5/8	168,3	8,68	12,92	0,125	3,18	161,9	49	60	56	70	84	-	92	-	104	-
6 5/8	168,3	9,74	14,50	0,141	3,58	161,1	53	67	63	77	95	-	103	-	117	-
6 5/8	168,3	10,79	16,06	0,156	3,96	160,4	60	77	70	84	105	-	115	-	129	-
6 5/8	168,3	11,85	17,64	0,172	4,37	159,6	67	84	77	98	115	-	127	-	143	-
6 5/8	168,3	12,89	19,18	0,188	4,78	158,7	70	91	84	105	126	-	138	-	156	-
6 5/8	168,3	13,92	20,72	0,203	5,16	158,0	77	98	91	112	136	-	149	-	168	-
6 5/8	168,3	14,97	22,28	0,219	5,56	157,2	84	105	98	120	147	-	161	-	181	-
6 5/8	168,3	17,02	25,33	0,250	6,35	155,6	98	120	112	141	167	-	183	-	207	-
6 5/8	168,3	18,97	28,23	0,280	7,11	154,1	105	134	127	155	188	-	205	-	211	-
6 5/8	168,3	21,07	31,36	0,312	7,92	152,5	120	148	141	176	209	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	23,06	34,32	0,344	8,74	150,8	134	162	155	176	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	25,03	37,25	0,375	9,52	149,3	141	176	169	176	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	28,57	42,52	0,432	10,97	146,4	162	176	176	176	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	32,71	48,68	0,500	12,70	142,9	176	176	176	176	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	36,42	54,20	0,562	14,27	139,8	176	176	176	176	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	40,05	59,60	0,625	15,88	136,5	176	176	176	176	211	-	211	-	211	-
6 5/8	168,3	45,34	67,47	0,719	18,26	131,8	176	176	176	176	211	-	211	-	211	-

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES SOUDÉS EN SPIRALE janvier 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve initiale						
							Grade A		Grade B		Grade X42	Grade X46	Grade X52
							Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)							
8 5/8	219,1	16,90	25,15	0,188	4,78	209,5	56	70	63	77	97	106	120
8 5/8	219,1	18,27	27,19	0,203	5,16	208,8	60	77	77	84	105	116	129
8 5/8	219,1	19,64	29,23	0,219	5,56	208,0	63	77	77	91	112	124	140
8 5/8	219,1	22,36	33,28	0,250	6,35	206,4	70	91	84	105	129	141	160
8 5/8	219,1	24,70	36,76	0,277	7,04	205,0	84	98	91	120	143	156	176
8 5/8	219,1	27,74	41,28	0,312	7,92	203,3	91	112	105	134	160	176	199
8 5/8	219,1	28,55	42,49	0,322	8,18	202,7	91	120	112	141	166	181	205
8 5/8	219,1	30,40	45,24	0,344	8,74	201,6	98	127	120	148	177	194	211
8 5/8	219,1	33,04	49,17	0,375	9,52	200,1	112	141	127	162	193	211	211
8 5/8	219,1	38,26	56,94	0,438	11,13	196,8	127	162	148	176	211	211	211
8 5/8	219,1	43,39	64,57	0,500	12,70	193,7	148	176	169	176	211	211	211
8 5/8	219,1	48,44	72,09	0,562	14,27	190,6	162	176	176	176	211	211	211
8 5/8	219,1	53,40	79,47	0,625	15,88	187,3	176	176	176	176	211	211	211
8 5/8	219,1	60,69	90,32	0,719	18,26	182,6	176	176	176	176	211	211	211
10 3/4	273,0	21,15	31,48	0,188	4,78	263,4	46	56	53	63	88	96	109
10 3/4	273,0	22,88	34,06	0,203	5,16	262,7	49	60	56	70	95	104	117
10 3/4	273,0	24,60	36,61	0,219	5,56	261,9	53	63	60	77	103	112	127
10 3/4	273,0	28,04	41,73	0,250	6,35	260,3	60	70	70	84	117	128	145
10 3/4	273,0	31,20	46,43	0,279	7,09	258,8	70	84	84	98	131	143	162
10 3/4	273,0	34,24	50,96	0,307	7,80	257,4	70	91	84	105	143	157	178
10 3/4	273,0	38,20	56,85	0,344	8,74	255,5	77	98	91	120	161	176	199
10 3/4	273,0	40,48	60,24	0,365	9,27	254,5	84	105	98	127	171	187	211
10 3/4	273,0	48,19	71,72	0,438	11,13	250,7	105	127	120	148	205	211	211
10 3/4	273,0	54,74	81,46	0,500	12,70	247,6	120	148	141	169	211	211	211
10 3/4	273,0	61,20	91,08	0,562	14,27	244,5	134	169	155	176	211	211	211
10 3/4	273,0	67,59	100,59	0,625	15,88	241,2	148	176	169	176	211	211	211
10 3/4	273,0	77,00	114,69	0,719	18,26	236,5	169	176	176	176	211	211	211
10 3/4	273,0	86,28	128,33	0,812	20,62	231,8	176	176	176	176	211	211	211
12 3/4	323,8	25,16	37,44	0,188	4,78	314,2	39	46	42	53	75	82	92
12 3/4	323,8	27,22	40,51	0,203	5,16	313,5	39	49	46	60	80	88	99
12 3/4	323,8	29,28	43,57	0,219	5,56	312,7	42	53	49	63	86	95	107
12 3/4	323,8	33,38	49,68	0,250	6,35	311,1	49	63	56	70	99	108	122
12 3/4	323,8	37,45	55,73	0,281	7,14	309,5	56	70	67	84	111	122	137
12 3/4	323,8	41,51	61,78	0,312	7,92	308,0	63	77	70	91	123	135	153
12 3/4	323,8	43,77	65,14	0,330	8,38	307,0	70	84	84	98	130	143	161
12 3/4	323,8	45,55	67,79	0,344	8,74	306,3	70	84	84	98	136	148	168
12 3/4	323,8	49,56	73,76	0,375	9,52	304,8	77	91	84	105	148	162	183
12 3/4	323,8	53,56	79,71	0,406	10,31	303,2	77	98	91	120	160	175	198
12 3/4	323,8	57,53	85,62	0,438	11,13	301,5	84	105	98	127	173	189	211
12 3/4	323,8	65,42	97,36	0,500	12,70	298,4	98	127	112	148	198	211	211
12 3/4	323,8	73,22	108,97	0,562	14,27	295,3	112	141	134	162	211	211	211
12 3/4	323,8	80,94	120,45	0,625	15,88	292,0	127	155	148	176	211	211	211
12 3/4	323,8	88,57	131,81	0,688	17,48	288,8	134	169	162	176	211	211	211
12 3/4	323,8	96,12	143,05	0,750	19,05	285,7	148	176	176	176	211	211	211

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES
SOUDÉS EN SPIRALE
janvier 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve initiale						
							Grade A		Grade B		Grade X42	Grade X46	Grade X52
							Standard	Variante	Standard	Variante			
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)
14	355,6	30,93	46,03	0,210	5,33	344,9	39	46	46	56	76	83	93
14	355,6	32,20	47,92	0,219	5,56	344,5	39	49	46	56	79	86	98
14	355,6	36,71	54,63	0,250	6,35	342,9	46	56	53	67	90	98	111
14	355,6	41,21	61,33	0,281	7,14	341,3	49	63	60	77	101	110	125
14	355,6	45,68	67,98	0,312	7,92	339,8	56	70	67	84	112	123	139
14	355,6	50,14	74,62	0,344	8,74	338,1	63	77	70	91	124	136	153
14	355,6	54,57	81,21	0,375	9,52	336,6	67	84	77	98	135	148	167
14	355,6	58,98	87,77	0,406	10,31	335,0	70	91	84	105	146	160	181
14	355,6	63,37	94,31	0,438	11,13	333,3	77	98	91	112	157	172	195
14	355,6	67,74	100,81	0,469	11,91	331,8	84	105	98	127	169	184	209
14	355,6	72,09	107,28	0,500	12,70	330,2	91	112	105	134	179	197	211
14	355,6	80,73	120,14	0,562	14,27	327,1	98	127	120	148	202	211	211
14	355,6	89,28	132,87	0,625	15,88	323,8	112	141	134	162	211	211	211
14	355,6	97,75	145,47	0,688	17,48	320,6	127	155	148	176	211	211	211
14	355,6	106,13	157,94	0,750	19,05	317,5	134	169	155	176	211	211	211
14	355,6	114,44	170,31	0,812	20,62	314,4	148	176	169	176	211	211	211
16	406,4	34,25	50,97	0,203	5,16	396,1	32	39	39	46	64	70	79
16	406,4	36,87	54,87	0,219	5,56	395,3	35	42	42	49	69	76	86
16	406,4	42,05	62,58	0,250	6,35	393,7	39	49	46	56	79	86	98
16	406,4	47,22	70,27	0,281	7,14	392,1	46	56	53	63	89	97	110
16	406,4	52,36	77,92	0,312	7,92	390,6	49	63	56	70	98	108	122
16	406,4	57,48	85,54	0,344	8,74	388,9	53	67	63	77	108	119	134
16	406,4	62,58	93,13	0,375	9,52	387,4	60	77	70	84	118	129	146
16	406,4	67,66	106,69	0,406	10,31	385,8	63	77	77	91	128	140	158
16	406,4	72,72	108,22	0,438	11,13	384,1	70	84	77	98	138	151	171
16	406,4	77,75	115,71	0,469	11,91	382,6	77	91	84	105	148	162	183
16	406,4	82,77	123,18	0,500	12,70	381,0	77	98	91	112	157	172	195
16	406,4	92,74	138,02	0,562	14,27	377,9	91	112	105	127	176	193	211
16	406,4	102,63	152,73	0,625	15,88	374,6	98	127	112	148	196	211	211
16	406,4	112,43	167,32	0,688	17,48	371,4	105	134	127	162	211	211	211
16	406,4	122,15	181,78	0,750	19,05	368,3	120	148	141	176	211	211	211
16	406,4	131,79	196,13	0,812	20,62	365,2	127	162	148	176	211	211	211
18	457,2	41,54	61,82	0,219	5,56	446,1	32	39	35	46	61	67	75
18	457,2	47,39	70,53	0,250	6,35	444,5	35	42	42	53	70	77	86
18	457,2	53,22	79,20	0,281	7,14	442,9	39	49	46	56	79	86	97
18	457,2	59,03	87,85	0,312	7,92	441,4	42	56	53	63	87	96	108
18	457,2	64,82	96,47	0,344	8,74	439,7	49	60	56	70	96	105	119
18	457,2	70,59	105,05	0,375	9,52	438,2	53	67	63	77	105	115	130
18	457,2	76,34	113,61	0,406	10,31	436,6	56	70	67	84	114	124	141
18	457,2	82,06	122,12	0,438	11,13	434,9	63	77	70	91	122	134	152
18	457,2	87,77	130,62	0,469	11,91	433,4	67	84	77	98	131	143	162
18	457,2	93,45	139,07	0,500	12,70	431,8	70	84	84	105	140	153	173
18	457,2	104,76	155,90	0,562	14,27	428,7	77	98	91	112	157	172	194
18	457,2	115,98	172,60	0,625	15,88	425,4	84	112	105	127	174	191	211
18	457,2	127,12	189,18	0,688	17,48	422,2	98	120	112	141	192	210	211
18	457,2	138,17	205,62	0,750	19,05	419,1	105	134	127	155	209	211	211
18	457,2	149,15	221,97	0,812	20,62	416,0	112	141	134	169	211	211	211

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES SOUDÉS EN SPIRALE
janvier 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve initiale						
							Grade A		Grade B		Grade X42	Grade X46	Grade X52
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	Standard (kgf/cm2)	Variante (kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)
20	508,0	46,21	68,77	0,219	5,56	496,9	28	35	32	39	58	64	72
20	508,0	52,73	78,47	0,250	6,35	495,3	32	39	35	46	67	73	82
20	508,0	59,23	88,15	0,281	7,14	493,7	35	46	42	53	75	82	93
20	508,0	65,71	97,79	0,312	7,92	492,2	39	49	46	56	83	91	103
20	508,0	72,16	107,39	0,344	8,74	490,5	42	53	49	63	92	101	113
20	508,0	78,60	116,97	0,375	9,52	489,0	49	60	56	70	100	110	124
20	508,0	85,01	126,51	0,406	10,31	487,4	53	63	60	77	108	119	134
20	508,0	91,41	136,04	0,438	11,13	485,7	56	70	63	77	117	128	144
20	508,0	97,78	145,52	0,469	11,91	484,2	60	77	70	84	125	137	155
20	508,0	104,13	154,97	0,500	12,70	482,6	63	77	70	91	133	146	165
20	508,0	116,77	173,78	0,562	14,27	479,5	70	91	84	105	150	164	186
20	508,0	129,33	192,47	0,625	15,88	476,2	77	98	91	112	167	182	193
20	508,0	141,80	211,03	0,688	17,48	473,0	84	105	98	127	183	193	193
20	508,0	154,19	229,47	0,750	19,05	469,9	98	120	112	141	193	193	193
20	508,0	166,50	247,79	0,812	20,62	466,8	105	127	120	148	193	193	193
22	558,8	50,89	75,73	0,219	5,56	547,7	25	32	28	35	53	58	66
22	558,8	58,07	86,42	0,250	6,35	546,1	28	35	35	42	60	67	75
22	558,8	65,24	97,09	0,281	7,14	544,5	32	39	39	46	68	75	84
22	558,8	72,38	107,72	0,312	7,92	543,0	35	46	42	53	76	83	93
22	558,8	79,51	118,33	0,344	8,74	541,3	39	49	46	56	84	91	103
22	558,8	86,61	128,89	0,375	9,52	539,8	42	53	49	63	91	100	112
22	558,8	93,69	139,43	0,406	10,31	538,2	46	60	56	67	98	108	122
22	558,8	100,75	149,94	0,438	11,13	536,5	49	63	60	70	106	116	131
22	558,8	107,79	160,41	0,469	11,91	535,0	53	67	63	77	114	124	141
22	558,8	114,81	170,86	0,500	12,70	533,4	56	70	67	84	121	133	150
22	558,8	128,79	191,67	0,562	14,27	530,3	63	77	77	91	136	149	169
22	558,8	142,68	212,34	0,625	15,88	527,0	70	91	84	105	151	166	176
22	558,8	156,49	232,89	0,688	17,48	523,8	77	98	91	112	167	176	176
22	558,8	170,22	253,32	0,750	19,05	520,7	84	105	98	127	176	176	176
22	558,8	183,86	273,62	0,812	20,62	517,6	91	120	112	134	176	176	176
24	609,6	63,41	94,37	0,250	6,35	596,9	28	32	32	39	56	61	69
24	609,6	71,25	106,03	0,281	7,14	595,3	28	39	35	42	63	68	77
24	609,6	79,06	117,66	0,312	7,92	593,8	32	42	39	49	70	76	86
24	609,6	86,85	129,25	0,344	8,74	592,1	35	46	42	53	77	84	95
24	609,6	94,62	140,81	0,375	9,52	590,6	39	49	46	56	84	91	103
24	609,6	102,37	152,35	0,406	10,31	589,0	42	53	49	63	90	99	112
24	609,6	110,10	163,85	0,438	11,13	587,3	46	56	53	67	97	107	120
24	609,6	117,81	175,32	0,469	11,91	585,8	49	63	56	70	104	114	129
24	609,6	125,49	186,75	0,500	12,70	584,2	53	67	60	77	111	122	137
24	609,6	140,80	209,54	0,562	14,27	581,1	60	77	70	84	125	136	155
24	609,6	156,03	232,20	0,625	15,88	577,8	67	84	77	98	138	152	162
24	609,6	171,17	254,74	0,688	17,48	574,6	70	91	84	105	153	162	162
24	609,6	186,24	277,16	0,750	19,05	571,5	77	98	91	112	162	162	162
24	609,6	201,21	299,44	0,812	20,62	568,4	84	105	98	127	162	162	162

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES SOUDÉS EN SPIRALE
janvier 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve initiale						
							Grade A		Grade B		Grade X42	Grade X46	Grade X52
							Standard	Variante	Standard	Variante			
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)
26	660,4	68,75	102,31	0,250	6,35	647,7	25	30	28	35	51	56	64
26	660,4	77,25	114,96	0,281	7,14	646,1	28	33	32	40	58	63	72
26	660,4	85,73	127,58	0,312	7,92	644,6	30	39	35	44	64	70	79
26	660,4	94,19	140,17	0,344	8,74	642,9	33	42	39	49	71	77	87
26	660,4	102,63	152,73	0,375	9,52	641,4	37	46	42	53	77	84	95
26	660,4	111,05	165,26	0,406	10,31	639,8	40	49	46	58	84	91	103
26	660,4	119,44	177,76	0,438	11,13	638,1	42	53	49	62	90	98	111
26	660,4	127,82	190,22	0,469	11,91	636,6	46	56	53	67	96	105	119
26	660,4	136,17	202,65	0,500	12,70	635,0	49	63	56	70	103	112	127
26	660,4	152,82	227,43	0,562	14,27	631,9	54	69	63	79	115	126	141
26	660,4	169,38	252,07	0,625	15,88	628,6	62	77	70	88	128	141	141
26	660,4	185,86	276,60	0,688	17,48	625,4	67	84	77	98	141	141	141
26	660,4	202,26	301,00	0,750	19,05	622,3	74	91	84	107	141	141	141
28	711,2	74,09	110,26	0,250	6,35	698,5	23	28	26	33	48	52	59
28	711,2	83,26	123,91	0,281	7,14	696,9	25	32	30	37	53	59	66
28	711,2	92,41	137,52	0,312	7,92	695,4	28	35	33	40	60	65	74
28	711,2	101,53	151,10	0,344	8,74	693,7	32	39	37	46	65	72	82
28	711,2	110,64	164,65	0,375	9,52	692,2	33	42	39	49	72	78	89
28	711,2	119,72	178,17	0,406	10,31	690,6	37	46	42	53	77	85	96
28	711,2	128,79	191,67	0,438	11,13	688,9	40	49	46	58	84	91	103
28	711,2	137,83	205,12	0,469	11,91	687,4	42	53	49	62	89	98	110
28	711,2	146,85	218,54	0,500	12,70	685,8	46	56	53	67	96	104	118
28	711,2	164,83	245,30	0,562	14,27	682,7	51	63	60	74	107	117	132
28	711,2	182,73	271,94	0,625	15,88	679,4	56	70	65	83	119	130	141
30	762,0	79,43	118,21	0,250	6,35	749,3	21	26	25	32	44	49	55
30	762,0	89,27	132,85	0,281	7,14	747,7	23	30	28	35	50	55	62
30	762,0	99,08	147,46	0,312	7,92	746,2	26	33	30	39	56	61	69
30	762,0	108,88	162,04	0,344	8,74	744,5	30	37	33	42	61	67	76
30	762,0	118,65	176,57	0,375	9,52	743,0	32	40	37	46	67	73	82
30	762,0	128,40	191,08	0,406	10,31	741,4	33	42	40	49	72	79	89
30	762,0	138,13	205,57	0,438	11,13	739,7	37	46	44	54	78	85	96
30	762,0	147,84	220,02	0,469	11,91	738,2	40	49	46	58	84	91	103
30	762,0	157,53	234,44	0,500	12,70	736,6	42	53	49	62	89	98	110
30	762,0	176,85	263,19	0,562	14,27	733,5	47	60	54	69	100	110	124
30	762,0	196,08	291,81	0,625	15,88	730,2	53	67	62	77	111	122	137
32	812,8	84,77	126,15	0,250	6,35	800,1	19	25	23	28	42	46	52
32	812,8	95,28	141,80	0,281	7,14	798,5	23	28	26	32	47	51	58
32	812,8	105,76	157,39	0,312	7,92	797,0	25	32	28	35	52	57	65
32	812,8	116,22	172,96	0,344	8,74	795,3	26	33	32	40	58	63	71
32	812,8	126,66	188,50	0,375	9,52	793,8	30	37	35	44	63	69	77
32	812,8	137,08	204,00	0,406	10,31	792,2	32	40	37	47	67	75	84
32	812,8	147,48	219,48	0,438	11,13	790,5	35	44	40	51	73	80	91
32	812,8	157,86	234,93	0,469	11,91	789,0	37	46	44	54	78	86	97
32	812,8	168,21	250,33	0,500	12,70	787,4	39	49	46	58	84	91	103
32	812,8	188,86	281,06	0,562	14,27	784,3	44	56	53	65	93	103	116
32	812,8	209,43	311,67	0,625	15,88	781,0	49	62	56	72	104	114	129

CARACTÉRISTIQUES DES TUBES LINE PIPE A EXTRÉMITÉS LISSES SOUDÉS EN SPIRALE
janvier 1965 (suite)

Dimension diamètre extérieur		Poids extrémités lisses		Epaisseur		Diamètre intérieur	Pression d'épreuve initiale						
							Grade A		Grade B		Grade X42	Grade X46	Grade X52
							Standard	Variante	Standard	Variante			
(in)	(mm)	(lbf/ft)	(kgf/m)	(in)	(mm)	(mm)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)	(kgf/cm2)
34	863,6	90,11	134,10	0,250	6,35	850,9	19	23	21	26	39	43	49
34	863,6	101,28	150,72	0,281	7,14	849,3	21	26	25	30	44	49	55
34	863,6	112,43	167,32	0,312	7,92	847,8	23	30	26	33	49	54	60
34	863,6	123,56	183,88	0,344	8,74	846,1	26	32	30	37	54	59	67
34	863,6	134,67	200,42	0,375	9,52	844,6	28	35	33	40	59	65	73
34	863,6	145,76	216,92	0,406	10,31	843,0	30	37	35	44	64	70	79
34	863,6	156,82	233,38	0,438	11,13	841,3	33	40	39	47	69	75	85
34	863,6	167,87	249,82	0,469	11,91	839,8	35	44	40	51	74	81	91
34	863,6	178,89	266,22	0,500	12,70	838,2	37	46	44	54	79	86	97
34	863,6	200,88	298,95	0,562	14,27	835,1	42	53	49	62	88	96	109
34	863,6	222,78	331,54	0,625	15,88	831,8	46	58	54	69	98	108	122
36	914,4	95,45	142,05	0,250	6,35	901,7	18	23	21	26	37	41	46
36	914,4	107,29	159,67	0,281	7,14	900,1	19	25	23	28	42	46	52
36	914,4	119,11	177,26	0,312	7,92	898,6	21	28	26	32	46	51	58
36	914,4	130,90	194,81	0,344	8,74	896,9	25	30	28	35	51	56	63
36	914,4	142,68	214,34	0,375	9,52	895,4	26	33	32	39	56	61	69
36	914,4	154,43	229,82	0,406	10,31	893,8	28	35	33	42	60	66	75
36	914,4	166,17	247,29	0,438	11,13	892,1	32	39	35	46	65	71	80
36	914,4	177,88	264,72	0,469	11,91	890,6	33	40	39	47	70	76	86
36	914,4	189,57	282,12	0,500	12,70	889,0	35	44	40	51	75	82	92
36	914,4	212,89	316,82	0,562	14,27	885,9	39	49	46	58	84	91	103
36	914,4	236,13	351,41	0,625	15,88	882,6	44	54	51	63	93	101	115
38	965,2	125,78	187,19	0,312	7,92	949,4	21	26	25	30	44	48	54
38	965,2	138,25	205,74	0,344	8,74	947,7	23	28	26	33	49	53	60
38	965,2	150,69	224,26	0,375	9,52	946,2	25	32	30	37	53	58	65
38	965,2	163,11	242,74	0,406	10,31	944,6	26	33	32	39	57	63	70
38	965,2	175,51	261,19	0,438	11,13	942,9	30	37	33	42	62	67	76
38	965,2	187,89	279,62	0,469	11,91	941,4	32	39	37	46	66	72	82
38	965,2	200,25	298,01	0,500	12,70	939,8	33	42	39	49	70	77	87
38	965,2	224,91	334,71	0,562	14,27	936,7	37	47	44	54	79	86	98
38	965,2	249,48	371,28	0,625	15,88	933,4	42	53	49	62	88	96	108
40	1016,0	145,59	216,67	0,344	8,74	998,5	21	26	25	32	46	51	57
40	1016,0	158,70	236,18	0,375	9,52	997,0	25	30	28	35	50	55	62
40	1016,0	171,79	255,66	0,406	10,31	995,4	26	32	30	37	54	60	67
40	1016,0	184,86	275,11	0,438	11,13	993,7	28	35	32	40	58	64	72
40	1016,0	197,91	294,53	0,469	11,91	992,2	30	37	35	44	63	69	77
40	1016,0	210,93	313,91	0,500	12,70	990,6	32	40	37	46	67	73	82
40	1016,0	236,92	352,58	0,562	14,27	987,5	35	44	42	53	75	82	93
40	1016,0	262,83	391,14	0,625	15,88	984,2	40	49	46	58	84	91	103
42	1066,8	166,71	248,10	0,375	9,52	1047,8	23	28	26	33	48	52	59
42	1066,8	180,47	268,58	0,406	10,31	1046,2	25	30	28	35	52	57	64
42	1066,8	194,20	289,01	0,438	11,13	1044,5	26	33	32	39	56	61	69
42	1066,8	207,92	309,43	0,469	11,91	1043,0	28	35	33	40	60	65	74
42	1066,8	221,61	329,80	0,500	12,70	1041,4	30	37	35	44	63	70	79
42	1066,8	248,94	370,47	0,562	14,27	1038,3	33	42	39	49	72	78	89
42	1066,8	276,18	411,01	0,625	15,88	1035,0	37	47	44	54	79	87	98

VOLUMES AU MÈTRE DES TUBES CASING A.P.I.*

Diamètre extérieur et déplacement (in et l/m)	Poids nominal (lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Volume intérieur (l/m)
4 1/2 (10,26)	9,50	5,21	103,9	8,48
	10,50	5,69	102,9	8,32
	11,60	6,35	101,6	8,11
	13,50	7,37	99,6	7,79
	15,10	8,56	97,2	7,42
5 (12,67)	11,50	5,59	115,8	10,53
	13,00	6,43	114,1	10,22
	15,00	7,52	112,0	9,85
	18,00	9,19	108,6	9,26
5 1/2 (15,33)	14,00	6,20	127,3	12,73
	15,50	6,98	125,7	12,41
	17,00	7,72	124,3	12,13
	20,00	9,17	121,4	11,58
	23,00	10,54	118,6	11,05
6 5/8 (22,24)	20,00	7,32	153,7	18,55
	24,00	8,94	150,4	17,77
	28,00	10,59	147,1	16,99
	32,00	12,06	144,2	16,33
7 (24,83)	17,00	5,87	166,1	21,67
	20,00	6,91	164,0	21,12
	23,00	8,05	161,7	20,54
	26,00	9,19	159,4	19,96
	29,00	10,36	157,1	19,38
	32,00	11,51	154,8	18,82
	35,00	12,65	152,5	18,27
	38,00	13,72	150,4	17,77
7 5/8 (29,46)	24,00	7,62	178,5	25,02
	26,40	8,33	177,0	24,61
	29,70	9,52	174,7	23,97
	33,70	10,92	171,9	23,21
	39,00	12,70	168,3	22,25

Diamètre extérieur et déplacement (in et l/m)	Poids nominal (lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Volume intérieur (l m)
8 5/8 (37,69)	24,00	6,71	205,7	33,23
	28,00	7,72	203,7	32,59
	32,00	8,94	201,2	31,79
	36,00	10,16	198,8	31,04
	40,00	11,43	196,2	30,23
	44,00	12,70	193,7	29,47
	49,00	14,15	190,8	28,59
9 5/8 (46,94)	32,30	7,92	228,7	41,08
	36,00	8,94	226,6	40,33
	40,00	10,03	224,4	39,55
	43,50	11,05	222,7	38,95
	47,00	11,99	220,5	38,19
	53,50	13,84	216,8	36,92
10 3/4 (58,56)	32,75	7,09	258,8	52,60
	40,50	8,89	255,2	51,15
	45,50	10,16	252,7	50,15
	51,00	11,43	250,1	49,13
	55,50	12,57	247,9	48,27
	60,70	13,84	245,3	47,26
	65,70	15,11	242,8	46,30
11 3/4 (69,96)	42,00	8,46	281,5	62,24
	47,00	9,52	279,4	61,31
	54,00	11,05	276,3	59,96
	60,00	12,42	273,6	58,79
13 3/8 (90,65)	48,00	8,38	322,9	81,89
	54,50	9,65	320,4	80,63
	61,00	10,92	317,9	79,37
	68,00	12,19	315,3	78,08
	72,00	13,06	313,6	77,24
16 (129,72)	65,00	9,52	387,4	117,87
	75,00	11,13	384,1	115,87
	84,00	12,57	381,3	114,19
20 (202,68)	94,00	11,13	485,7	185,28

* Sans tenir compte des joints

VOLUMES AU MÈTRE DES TUBING A.P.I.*

Diamètre extérieur (in et mm)	Poids nominal (lbf/ft)	Épaisseur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Volume extérieur (l/m)	Volume intérieur (l/m)	Volume acier (l/m)	Hauteur remplie par m³ (m)
1,050 (26,7)	1,14-1,20	2,87	20,9	0,56	0,34	0,22	2941,2
1,315 (33,4)	1,70-1,72-1,80	3,38	26,6	0,88	0,56	0,32	1785,7
1,660 (42,2)	2,10 2,30-2,33-2,40	3,18 3,56	35,8 35,1	1,40 1,40	1,01 0,97	0,39 0,43	990,1 1030,9
1,900 (48,3)	2,40 2,75-2,76-2,90	3,18 3,68	41,9 40,9	1,83 1,83	1,38 1,31	0,45 0,52	724,6 763,4
2,063 (52,4)	3,25	3,96	44,5	2,16	1,56	0,60	641,0
2 3/8 (60,3)	4,00 4,60-4,70 5,80-5,95	4,24 4,83 6,45	51,8 50,7 47,4	2,86 2,86 2,86	2,11 2,02 1,77	0,75 0,84 1,09	473,9 495,0 565,0
2 7/8 (73,0)	6,40-6,50 8,60-8,70	5,51 7,82	62,0 57,4	4,19 4,19	3,02 2,59	1,17 1,60	331,1 386,1
3 1/2 (88,9)	7,70 9,20-9,30 10,20 12,70-12,95	5,49 6,45 7,34 9,52	77,9 76,0 74,2 69,8	6,21 6,21 6,21 6,21	4,77 4,54 4,33 3,83	1,44 1,67 1,88 2,38	209,6 220,3 230,9 261,1
4 (101,6)	9,50 11,00	5,74 6,65	90,1 88,3	8,11 8,11	6,38 6,12	1,73 1,99	156,7 163,4
4 1/2 (114,3)	12,60-12,75	6,88	100,5	10,26	7,94	2,32	125,9

* Sans tenir compte des joints

VOLUMES AU MÈTRE DES TROUS FORÉS

Diamètre (in)	Volume (l/m)	Diamètre (in)	Volume (l/m)	Diamètre (in)	Volume (l/m)	Diamètre (in)	Volume (l/m)	Diamètre (in)	Volume (l/m)	Diamètre (in)	Volume (l/m)
1	0,507	5	12,67	9	41,04	13	85,63	17	146,4	21	223,5
1 1/8	0,641	5 1/8	13,31	9 1/8	42,19	13 1/8	87,29	17 1/8	148,6	21 1/8	226,1
1 1/4	0,792	5 1/4	13,97	9 1/4	43,36	13 1/4	88,96	17 1/4	150,8	21 1/4	228,8
1 3/8	0,958	5 3/8	14,64	9 3/8	44,53	13 3/8	90,65	17 3/8	153,0	21 3/8	231,5
1 1/2	1,140	5 1/2	15,33	9 1/2	45,73	13 1/2	92,35	17 1/2	155,2	21 1/2	234,2
1 5/8	1,338	5 5/8	16,03	9 5/8	46,94	13 5/8	94,07	17 5/8	157,4	21 5/8	237,0
1 3/4	1,552	5 3/4	16,75	9 3/4	48,17	13 3/4	95,80	17 3/4	159,6	21 3/4	239,7
1 7/8	1,781	5 7/8	17,49	9 7/8	49,41	13 7/8	97,55	17 7/8	161,9	21 7/8	242,5
2	2,027	6	18,24	10	50,67	14	99,31	18	164,2	22	245,2
2 1/8	2,288	6 1/8	19,01	10 1/8	51,95	14 1/8	101,10	18 1/8	166,5	22 1/8	248,0
2 1/4	2,565	6 1/4	19,79	10 1/4	53,24	14 1/4	102,89	18 1/4	166,8	22 1/4	250,9
2 3/8	2,858	6 3/8	20,59	10 3/8	54,54	14 3/8	104,71	18 3/8	171,1	22 3/8	253,7
2 1/2	3,167	6 1/2	21,41	10 1/2	55,86	14 1/2	106,54	18 1/2	173,4	22 1/2	256,5
2 5/8	3,492	6 5/8	22,24	10 5/8	57,20	14 5/8	108,38	18 5/8	175,8	22 5/8	259,4
2 3/4	3,832	6 3/4	23,09	10 3/4	58,56	14 3/4	110,24	18 3/4	178,1	22 3/4	262,3
2 7/8	4,188	6 7/8	23,95	10 7/8	59,93	14 7/8	112,12	18 7/8	180,5	22 7/8	265,1
3	4,560	7	24,83	11	61,31	15	114,01	19	182,9	23	268,0
3 1/8	4,948	7 1/8	25,72	11 1/8	62,71	15 1/8	115,92	19 1/8	185,3	23 1/8	271,0
3 1/4	5,352	7 1/4	26,63	11 1/4	64,13	15 1/4	117,84	19 1/4	187,8	23 1/4	273,9
3 3/8	5,772	7 3/8	27,56	11 3/8	65,56	15 3/8	119,78	19 3/8	190,2	23 3/8	276,9
3 1/2	6,207	7 1/2	28,50	11 1/2	67,01	15 1/2	121,74	19 1/2	192,7	23 1/2	279,8
3 5/8	6,658	7 5/8	29,46	11 5/8	68,48	15 5/8	123,71	19 5/8	195,2	23 5/8	282,8
3 3/4	7,126	7 3/4	30,43	11 3/4	69,96	15 3/4	125,70	19 3/4	197,6	23 3/4	285,8
3 7/8	7,609	7 7/8	31,42	11 7/8	71,45	15 7/8	127,70	19 7/8	200,2	23 7/8	288,8
4	8,107	8	32,43	12	72,97	16	129,72	20	202,7	24	291,9
4 1/8	8,622	8 1/8	33,45	12 1/8	74,49	16 1/8	131,75	20 1/8	205,2	24 1/8	294,9
4 1/4	9,152	8 1/4	34,49	12 1/4	76,04	16 1/4	133,80	20 1/4	207,8	24 1/4	298,0
4 3/8	9,699	8 3/8	35,54	12 3/8	77,60	16 3/8	135,87	20 3/8	210,4	24 3/8	301,1
4 1/2	10,261	8 1/2	36,61	12 1/2	79,17	16 1/2	137,95	20 1/2	212,9	24 1/2	304,2
4 5/8	10,839	8 5/8	37,69	12 5/8	80,76	16 5/8	140,05	20 5/8	215,5	24 5/8	307,3
4 3/4	11,433	8 3/4	38,79	12 3/4	82,37	16 3/4	142,16	20 3/4	218,2	24 3/4	310,4
4 7/8	12,042	8 7/8	39,91	12 7/8	83,99	16 7/8	144,29	20 7/8	220,8	24 7/8	313,5

VOLUMES AU MÈTRE DES TUBES LINE PIPE

Dimension nominale (in)	Poids nominal (lbf/ft)	Volume intérieur (l/m)
1/8	0,24-0,25	0,037
	0,31	0,023
1/4	0,42-0,43	0,067
	0,54	0,046
3/8	0,57	0,123
	0,74	0,091
1/2	0,85-0,86	0,196
	1,09	0,151
	1,71	0,032
3/4	1,13-1,14	0,344
	1,47	0,279
	2,44	0,095
1	1,68-1,70	0,558
	2,17	0,464
	3,66	0,182
1 1/4	2,27-2,30	0,965
	3,00	0,828
	5,21	0,407
1 1/2	2,72-2,75	1,313
	3,63	1,140
	6,41	0,613
2	3,65-3,75	2,165
	5,02	1,905
	9,03	1,145
2 1/2	5,79-5,90	3,089
	7,66	2,734
	13,70	1,589
3	7,58-7,70	4,769
	10,25	4,261
	18,58	2,680

Dimension nominale (in)	Poids nominal (lbf/ft)	Volume intérieur (l/m)
3 1/2	4,51	5,352
	5,58	5,150
	6,63	4,945
	7,58	4,769
	8,68	4,560
	9,11-9,25	6,379
	9,67	4,374
	12,51	5,734
4	5,17	7,126
	6,41	6,892
	7,63	6,655
	9,11	6,379
	10,01	6,207
	10,79-11,00	8,213
	11,17	5,989
	14,98	7,417
	27,54	5,034
4 1/2	5,84	9,152
	6,55	9,015
	7,25	8,887
	7,94	8,752
	8,64	8,618
	9,32	8,493
	10,00	8,361
	10,79	8,213
	11,35	8,107
	12,67	7,858
	13,98	7,612
	14,98	7,417
	18,98	6,655
	22,52	5,989
	27,54	5,034
5	15,00	12,907
	20,78	11,738
	38,55	8,365

Dimension nominale (in)	Poids nominal (lbf/ft)	Volume intérieur (l/m)
5 9/16	9,02	13,971
	10,76	13,633
	12,49	13,309
	14,62	12,907
	15,87	12,673
	17,52	12,360
	19,16	12,042
	27,04	10,550
	32,96	9,426
6	19,45	18,639
	28,57	16,817
	53,16	12,151
6 5/8	8,68	20,593
	9,74	20,387
	10,79	20,194
	11,85	19,990
	12,89	19,787
	13,92	19,597
	14,97	19,396
	17,02	19,009
	18,97	18,639
	21,07	18,248
	23,06	17,860
	25,03	17,489
	28,57	16,817
	32,71	16,033
	36,42	15,333
	40,05	14,639
	45,34	13,633
8	25,55	33,007
	29,35	32,275
	43,39	29,460
	72,42	23,950

VOLUMES AU MÈTRE DES TUBES LINE PIPE (suite)

Dimension nominale (in)	Poids nominal (lbf/ft)	Volume intérieur (l/m)
8 5/8	16,90	34,48
	18,27	34,23
	19,64	33,96
	22,36	33,45
	24,70	33,01
	27,74	32,44
	28,55	32,28
	30,40	31,92
	33,04	31,42
	38,26	30,43
	43,39	29,46
	48,44	28,51
	53,40	27,56
	60,69	26,17
10	32,75	52,64
	35,75	52,06
	41,85	50,87
	54,74	48,17
10 3/4	21,15	54,53
	22,88	54,22
	24,60	53,88
	28,04	53,24
	31,20	52,64
	34,24	52,06
	38,20	51,30
	40,48	50,87
	48,19	49,40
	54,74	48,17
	61,20	46,95
	67,59	45,73
	77,00	43,94
	86,23	42,20
12	45,45	74,06
	51,15	72,97
	65,42	69,96
12 3/4	25,16	77,58
	27,22	77,21
	29,28	76,81
	33,38	76,04
	37,45	75,27
	41,51	74,51
	43,77	74,06
	45,55	73,72
	49,56	72,97
	53,56	72,21
	57,53	71,44
	65,42	69,96
	73,22	68,49
	80,94	67,01
	88,57	65,55
	96,12	64,13
14	30,93	93,45
	32,20	93,20
	36,71	92,35
	41,21	91,50
	45,68	90,66
	50,14	89,79
	54,57	88,96
	57,00	88,96
	58,98	88,13
	63,37	87,27
	67,74	86,45
	72,09	85,63
	80,73	84,01
	89,28	82,37
	97,75	80,75
	106,13	79,17
	114,44	77,61
16	34,25	123,22
	36,87	122,71
	42,05	121,74
	47,22	120,76
	52,36	119,80
	57,48	118,80
	62,58	117,84
	65,30	117,84
16 (suite)	67,66	116,88
	72,72	115,90
	77,75	114,95
	82,77	114,01
	92,74	112,13
	102,62	110,24
	112,43	108,37
	122,15	106,54
	131,79	104,72
18	41,54	156,28
	47,39	155,18
	53,22	154,08
	59,03	152,99
	64,82	151,86
	70,59	150,78
	73,00	150,78
	76,34	149,70
	82,06	148,58
	87,77	147,51
	93,45	146,44
	104,76	144,31
	115,98	142,16
	127,12	140,03
	138,17	137,95
	149,15	135,89
20	46,21	193,90
	52,73	192,68
	59,23	191,45
	65,71	190,23
	72,16	188,98
	78,60	187,77
	81,00	187,77
	85,01	186,56
	91,41	185,32
	97,78	184,12
	104,13	182,92
	116,77	180,54
	129,33	178,14
	141,80	175,75
	154,19	173,42
	166,50	171,10

VOLUMES AU MÈTRE DES TUBES LINE PIPE (suite)

Dimension nominale (in)	Poids nominal (lbf/ft)	Volume intérieur (l/m)
22	50,89	235,6
	58,07	234,2
	65,24	232,9
	72,38	231,5
	79,51	230,1
	86,61	228,8
	93,69	227,5
	100,75	226,1
	107,79	224,8
	114,81	223,5
	128,79	220,8
	142,68	218,2
	156,49	215,5
	170,22	212,9
	183,86	210,4
24	63,41	279,8
	71,25	278,4
	79,06	276,9
	86,85	275,4
	94,62	273,9
	102,37	272,4
	110,10	270,9
	117,81	269,5
	125,49	268,0
	140,80	265,2
	156,03	262,3
	171,17	259,4
	186,24	256,5
	201,21	253,7
26	68,75	329,5
	77,25	327,9
	85,73	326,3
	94,19	324,6
	102,63	323,1
	111,05	321,5
	119,44	319,8
	127,82	318,3
	136,17	316,7
	152,82	313,6
	169,38	310,4
	185,86	307,2
	202,26	304,2

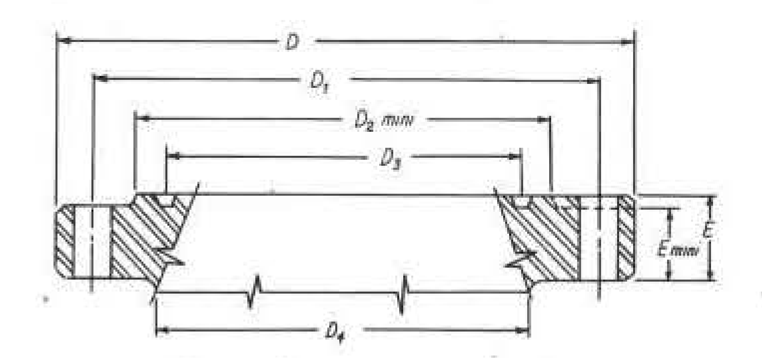
Dimension nominale (in)	Poids nominal (lbf/ft)	Volume intérieur (l/m)
28	74,09	383,2
	83,26	381,5
	92,41	379,7
	101,53	378,0
	110,64	376,3
	119,72	374,6
	128,79	372,8
	137,83	371,1
	146,85	369,4
	164,83	366,0
	182,73	362,6
30	79,43	441,0
	89,27	439,1
	99,08	437,3
	108,88	435,4
	118,65	433,5
	128,40	431,7
	138,13	429,8
	147,84	428,0
	157,53	426,1
	176,85	422,5
	196,08	418,8
32	84,77	502,8
	95,28	500,8
	105,76	498,8
	116,22	496,8
	126,66	494,8
	137,08	492,9
	147,48	490,8
	157,86	488,9
	168,21	486,9
	188,86	483,1
	209,43	479,1
34	90,11	568,7
	101,28	566,5
	112,43	564,5
	123,56	562,3
	134,67	560,2
	145,76	558,1
	156,82	556,0
	167,87	553,9
	178,89	551,8
	200,88	547,7
	222,78	543,5

Dimension nominale (in)	Poids nominal (lbf/ft)	Volume intérieur (l/m)
36	97,45	638,6
	107,29	636,3
	119,11	634,1
	130,90	631,8
	142,68	629,6
	154,43	627,4
	166,17	625,1
	177,88	622,9
	189,57	620,7
	212,89	616,3
	236,13	611,9
38	125,78	707,9
	138,25	705,4
	150,69	703,1
	163,11	700,7
	175,51	698,3
	187,89	696,0
	200,25	693,7
	224,91	689,0
	249,48	684,3
40	145,59	783,1
	158,70	780,6
	171,79	778,2
	184,86	775,6
	197,91	773,2
	210,93	770,7
	236,92	765,8
	262,83	760,9
42	166,71	862,2
	180,47	859,6
	194,20	856,9
	207,92	854,4
	221,61	851,8
	248,94	846,6
	276,18	841,4

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.P.I. TYPE 6B - 960 psi

Pression maximale de travail : 67,5 kgf/cm² (960 psi)

Pression de test : 102 kgf/cm² (1450 psi)



Toutes dimensions en pouces

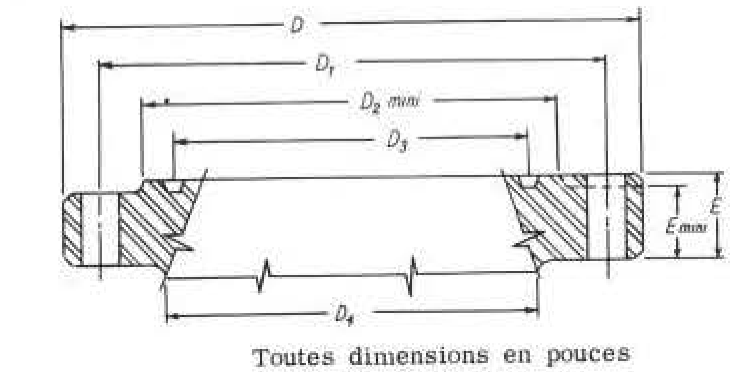
Dimension nominale	Diamètre extérieur D	Épaisseur totale E	Épaisseur minimale E mini	Diam. face dressée D_2 mini	Diamètre corps D_4	Entraxe goujons D_1	Nombre goujons	Diamètre goujons	Longueur goujons	Numéro joint tore type R ou RX	Diam. moyen joint tore D_3
1 1/2 *	6 1/8	1 1/8	7/8	3 9/16	2 3/4	4 1/2	4	3/4	4 1/2	20	2 11/16
2 *	6 1/2	1 5/16	1	4 1/4	3 5/16	5	8	5/8	4 3/4	23	3 1/4
2 1/2 *	7 1/2	1 7/16	1 1/8	5	3 15/16	5 7/8	8	3/4	5 1/4	26	4
3 *	8 1/4	1 9/16	1 1/4	5 3/4	4 5/8	6 5/8	8	3/4	5 1/2	31	4 7/8
4 *	10	1 11/16	1 3/8	6 7/8	5 3/4	7 7/8	8	7/8	6	37	5 7/8
5 *	11	1 13/16	1 1/2	8 1/4	7	9 1/4	8	7/8	6 1/4	41	7 1/8
6	12 1/2	1 15/16	1 5/8	9 1/2	8 1/8	10 5/8	12	7/8	6 1/2	45	8 5/16
8	15	2 3/16	1 7/8	11 7/8	10 1/4	13	12	1	7 3/8	49	10 5/8
10	17 1/2	2 7/16	2 1/8	14	12 5/8	15 1/4	16	1 1/8	8 1/8	53	12 3/4
12	20 1/2	2 9/16	2 1/4	16 1/4	14 3/4	17 3/4	16	1 1/4	9	57	15
16	25 1/2	2 13/16	2 1/2	20	19	22 1/2	20	1 3/8	9 3/4	65	18 1/2
20	30 1/2	3 1/8	2 3/4	25	23 1/8	27	24	1 1/2	10 3/4	73	23

* Les brides 1 1/2" à 5" ne sont mentionnées qu'à titre d'information. Elles ne sont plus normalisées par l'A.P.I.

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.P.I. TYPE 6B - 2 000 psi

Pression maximale de travail : 140 kgf/cm² (2000 psi)

Pressions de test : éléments bridés ⩽ 14" : 280 kgf/cm² (4000 psi)
éléments bridés ⩾ 16" : 210 kgf/cm² (3000 psi)



Toutes dimensions en pouces

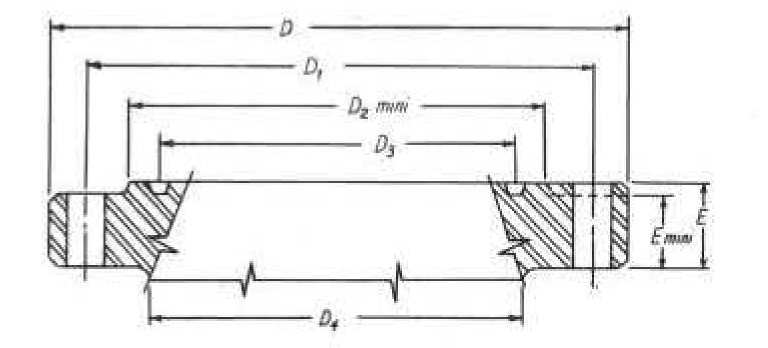
Dimension nominale	Diamètre extérieur D	Épaisseur totale E	Épaisseur minimale E mini	Diam. face dressée D_2 mini	Diamètre corps D_4	Entraxe goujons D_1	Nombre goujons	Diamètre goujons	Longueur goujons	Numéro joint tore type R ou RX	Diam. moyen joint tore D_3
1 1/2	6 1/8	1 1/8	7/8	3 9/16	2 3/4	4 1/2	4	3/4	4 1/4	20	2 11/16
2	6 1/2	1 5/16	1	4 1/4	3 5/16	5	8	5/8	4 1/2	23	3 1/4
2 1/2	7 1/2	1 7/16	1 1/8	5	3 15/16	5 7/8	8	3/4	5	26	4
3	8 1/4	1 9/16	1 1/4	5 3/4	4 5/8	6 5/8	8	3/4	5 1/4	31	4 7/8
4	10 3/4	1 13/16	1 1/2	6 7/8	6	8 1/2	8	7/8	6	37	5 7/8
5	13	2 1/16	1 3/4	8 1/4	7 7/16	10 1/2	8	1	6 3/4	41	7 1/8
6	14	2 3/16	1 7/8	9 1/2	8 3/4	11 1/2	12	1	7	45	8 5/16
8	16 1/2	2 1/2	2 3/16	11 7/8	10 3/4	13 3/4	12	1 1/8	8	49	10 5/8
10	20	2 13/16	2 1/2	14	13 1/2	17	16	1 1/4	8 3/4	53	12 3/4
12	22	2 15/16	2 5/8	16 1/4	15 3/4	19 1/4	20	1 1/4	9	57	15
16	27	3 5/16	3	20	19 1/2	23 3/4	20	1 1/2	10 1/4	65	18 1/2
18	29 1/4	3 9/16	3 1/4	22 5/8	21 1/2	25 3/4	20	1 5/8	11	69	21
20	32	3 7/8	3 1/2	25	24	28 1/2	24	1 5/8	11 3/4	73	23

* Fabriqué seulement sur commande spéciale

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.P.I. TYPE 6B - 3 000 psi

Pression maximale de travail : 210 kgf/cm² (3000 psi)

Pressions de test : éléments bridés ⩽ 14" : 420 kgf/cm² (6000 psi)
éléments bridés ⩾ 16" : 315 kgf/cm² (4500 psi)



Toutes dimensions en pouces

Dimension nominale	Diamètre extérieur D	Épaisseur totale E	Épaisseur minimale E mini	Diamètre face dressée D_2 mini	Diamètre corps D_4	Entraxe goujons D_1	Nombre goujons	Diamètre goujons	Longueur goujons	Numéro joint tore type R ou RX	Diamètre moyen joint tore D_3
1 1/2*	7	1 1/2	1 1/4	3 5/8	2 3/4	4 7/8	4	1	5 1/2	20	2 11/16
2	8 1/2	1 13/16	1 1/2	4 7/8	4 1/8	6 1/2	8	7/8	6	24	3 3/4
2 1/2	9 5/8	1 15/16	1 5/8	5 3/8	4 7/8	7 1/2	8	1	6 1/2	27	4 1/4
3	9 1/2	1 13/16	1 1/2	6 1/8	5	7 1/2	8	7/8	6	31	4 7/8
4	11 1/2	2 1/16	1 3/4	7 1/8	6 1/4	9 1/4	8	1 1/8	7	37	5 7/8
5 *	13 3/4	2 5/16	2	8 1/2	7 1/2	11	8	1 1/4	7 3/4	41	7 1/8
6	15	2 1/2	2 3/16	9 1/2	9 1/4	12 1/2	12	1 1/8	8	45	8 5/16
8	18 1/2	2 13/16	2 1/2	12 1/8	11 3/4	15 1/2	12	1 3/8	9	49	10 5/8
10	21 1/2	3 1/16	2 3/4	14 1/4	14 1/2	18 1/2	16	1 3/8	9 1/2	53	12 3/4
12	24	3 7/16	3 1/8	16 1/2	16 1/2	21	20	1 3/8	10 1/4	57	15
16	27 3/4	3 15/16	3 1/2	20 5/8	20	24 1/4	20	1 5/8	11 3/4	66	18 1/2
18 *	31	4 1/2	4	23 3/8	22 1/4	27	20	1 7/8	13 3/4	70	21
20	33 3/4	4 3/4	4 1/4	25 1/2	24 1/2	29 1/2	20	2	14 1/2	74	23

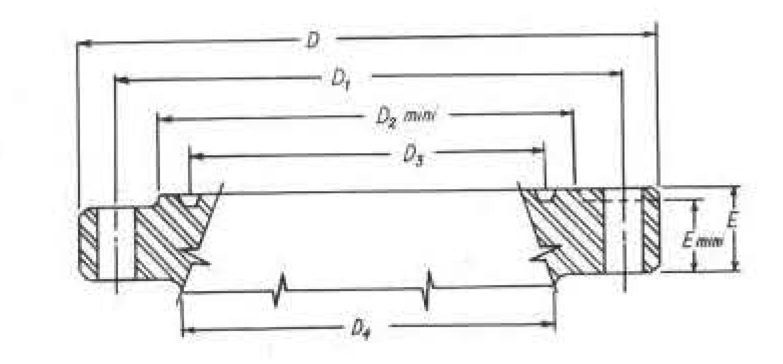
Les brides 3000 psi 1 1/2", 2" et 2 1/2" sont identiques aux brides 5000 psi de mêmes dimensions nominales et sont repérées avec la marque 5000 psi.

* Fabriqué seulement sur commande spéciale

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.P.I. TYPE 6B - 5 000 psi

Pression maximale de travail : 350 kgf/cm² (5000 psi)

Pression de test : 700 kgf/cm² (10000 psi)



Toutes dimensions en pouces

Dimension nominale	Diamètre extérieur D	Épaisseur totale E	Épaisseur minimale E mini	Diamètre face dressée D_2 mini	Diamètre corps D_4	Entraxe goujons D_1	Nombre goujons	Diamètre goujons	Longueur goujons	Numéro joint tore type R ou RX	Diamètre moyen joint tore D_3
1 1/2 *	7	1 1/2	1 1/4	3 5/8	2 3/4	4 7/8	4	1	5 1/2	20	2 11/16
2	8 1/2	1 13/16	1 1/2	4 7/8	4 1/8	6 1/2	8	7/8	6	24	3 3/4
2 1/2	9 5/8	1 15/16	1 5/8	5 3/8	4 7/8	7 1/2	8	1	6 1/2	27	4 1/4
3	10 1/2	2 3/16	1 7/8	6 5/8	5 1/4	8	8	1 1/8	7 1/4	35	5 3/8
4	12 1/4	2 7/16	2 1/8	7 5/8	6 3/8	9 1/2	8	1 1/4	8	39	6 3/8
5 *	14 3/4	3 3/16	2 7/8	9	7 3/4	11 1/2	8	1 1/2	10	44	7 5/8
6	15 1/2	3 5/8	3 1/4	9 3/4	9	12 1/2	12	1 3/8	10 3/4	46	8 5/16
8	19	4 1/16	3 5/8	12 1/2	11 1/2	15 1/2	12	1 5/8	12	50	10 5/8
10	23	4 11/16	4 1/4	14 5/8	14 1/2	19	12	1 7/8	13 3/4	54	12 3/4
14	29 1/2	5 7/8	5 1/4	19 1/4	19 1/2	25	16	2 1/4	17 1/4	63	16 1/2

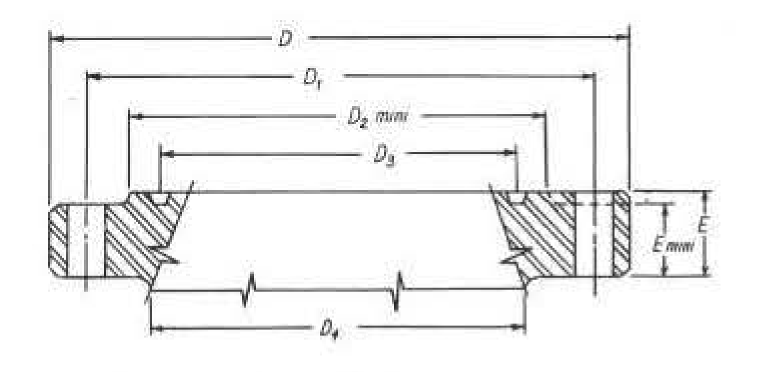
La bride 14" n'est mentionnée qu'à titre d'information. Elle a été remplacée par la bride A.P.I. 13 5/8 type 6BX -5000 psi.

* Fabriqué seulement sur commande spéciale.

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES NON A.P.I. SÉRIE 2 900*

Pression maximale de travail : 700 kgf/cm² (10000 psi)

Pression de test : 1050 kgf/cm² (15000 psi)



Toutes dimensions en pouces

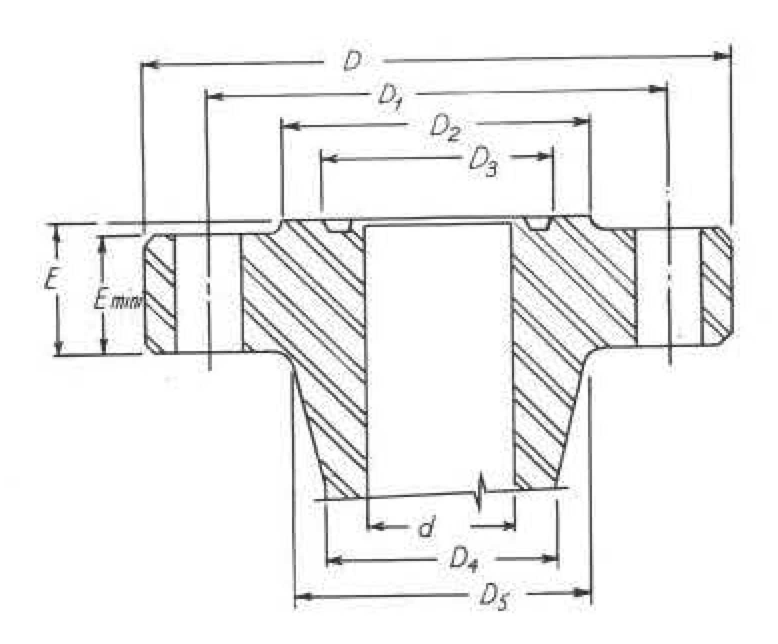
Dimension nominale	Diamètre extérieur D	Épaisseur totale E	Épaisseur minimale E mini	Diamètre corps D_3	Entraxe goujons D_1	Nombre goujons	Diamètre goujons	Longueur goujons	Numéro joint tore type R ou RX	Diamètre moyen joint tore D_2
1	6 3/4	2	1 11/16	1 7/8	4 5/8	4	1	6 3/4	82	2 1/4
1 1/2	7 1/4	2 1/16	1 3/4	2 3/8	5 1/8	4	1	6 3/4	84	2 1/2
2	7 3/4	2 3/8	2	3 1/8	5 3/4	8	7/8	7	85	3 1/8
2 1/2	8 7/8	2 3/4	2 5/16	3 3/4	6 5/8	8	1	8	86	3 9/16
3	10	3 1/16	2 5/8	4 3/8	7 1/2	8	1 1/8	9	87	3 15/16
3 1/2	11 1/2	3 3/8	2 7/8	5	8 1/2	8	1 1/4	9 3/4	89	4 1/2
4	12 1/2	3 5/8	3 1/8	5 9/16	9 1/2	8	1 3/8	10 1/2	88	4 7/8
5	14 1/4	4 3/16	3 5/8	6 13/16	11	8	1 5/8	12 1/2	90	6 1/8
10	20 3/4	5 11/16	5	11 3/4	16 3/4	12	2	16 1/2	91	10 1/4

* Ces brides ne sont mentionnées qu'à titre d'information. La série 2900 n'est plus normalisée par l'A. P. I.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BRIDE A.P.I. TYPE 6BX - 5 000 psi

Pression maximale de travail :
350 kgf/cm² (5000 psi)

Pression de test :
700 kgf/cm² (10000 psi)



Toutes dimensions en pouces

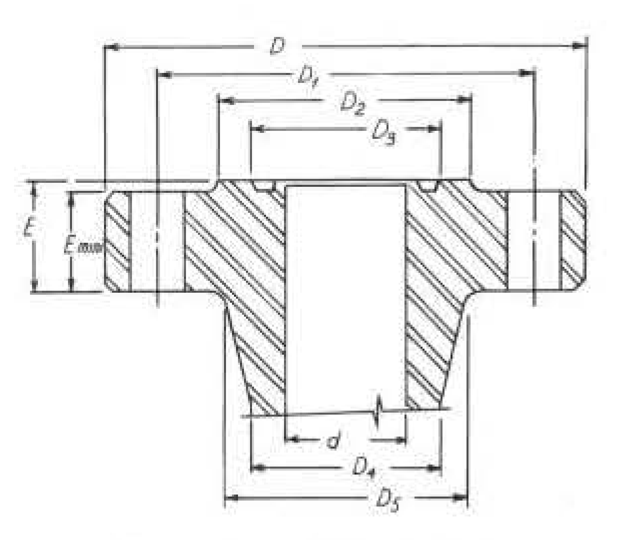
Dimension nominale (Diamètre intérieur) d	Diamètre extérieur D	Épaisseur totale E	Épaisseur minimale E mini	Diamètre face dressée D_2	Diamètre maximal corps D_5	Diamètre minimal corps D_4
13 5/8	26 1/2	4 7/16	3 7/8	18	18 15/16	16 11/16

Entraxe goujons D_1	Nombre goujons	Diamètre goujons	Longueur goujons	Numéro joint tore type BX	Diamètre extérieur saignée D_3
23 1/4	16	1 5/8	12 1/2	160	16,063

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.P.I. TYPE 6BX - 10 000 psi

Pression maximale de travail : 700 kgf/cm² (10000 psi)

Pression de test : 1050 kgf/cm² (15000 psi)



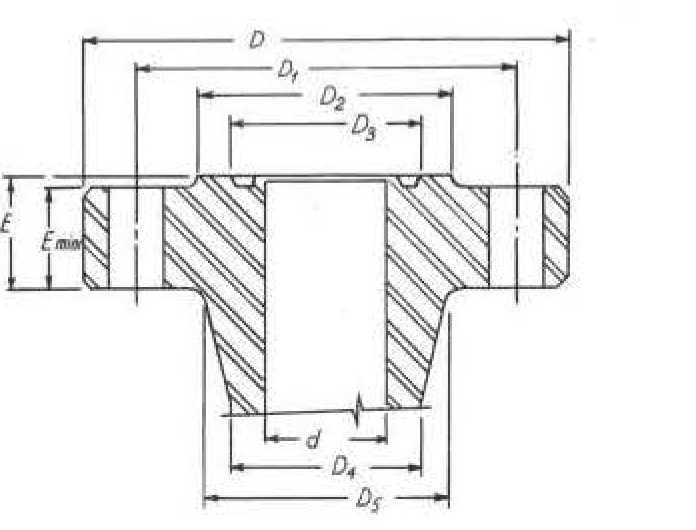
Toutes dimensions en pouces

Dimension nominale (Diamètre intérieur) d	Diamètre extérieur D	Épaisseur totale E	Épaisseur minimale E mini	Diamètre face dressée D_2	Diamètre maximal corps D_5	Diamètre minimal corps D_4	Entraxe goujons D_1	Nombre goujons	Diamètre goujons	Longueur goujons	Numéro joint tore type BX	Diamètre extérieur saignée D_3
1 11/16	7 3/16	1 21/32	1 7/16	4	3 5/16	2 13/32	5 9/16	8	3/4	5	150	2,893
1 13/16	7 3/8	1 21/32	1 7/16	4 1/8	3 1/2	2 9/16	5 3/4	8	3/4	5	151	3,062
2 1/16	7 7/8	1 47/64	1 1/2	4 3/8	3 15/16	2 15/16	6 1/4	8	3/4	5 1/4	152	3,395
2 9/16	9 1/8	2 1/64	1 3/4	5 3/16	4 3/4	3 5/8	7 1/4	8	7/8	6	153	4,046
3 1/16	10 5/8	2 19/64	2	6	5 19/32	4 11/32	8 1/2	8	1.	6 3/4	154	4,685
4 1/16	12 7/16	2 49/64	2 7/16	7 9/32	7 3/16	5 3/4	10 3/16	8	1 1/8	8	155	5,930
7 1/16	18 7/8	4 1/16	3 5/8	11 7/8	11 7/8	10	15 7/8	12	1 1/2	11 1/4	156	9,521
9	21 3/4	4 7/8	4 3/8	14 1/8	14 3/4	12 7/8	18 3/4	16	1 1/2	13	157	11,774
11	25 3/4	5 9/16	5	16 7/8	17 3/4	15 3/4	22 1/4	16	1 3/4	15	158	14,064
13 5/8	30 1/4	6 5/8	6	20 3/8	21 3/4	19 1/2	26 1/2	20	1 7/8	17 1/4	159	17,033

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.P.I.
TYPE 6BX - 15 000 psi

Pression maximale de travail : 1050 kgf/cm² (15000 |

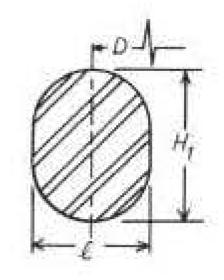
Pression de test : 1575 kgf/cm² (22500 psi)



Toutes dimensions en pouces

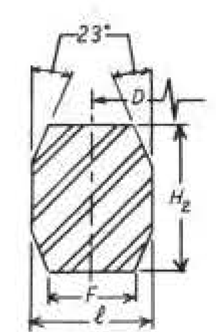
Dimension nominale (Diamètre intérieur) d	Diamètre extérieur D	Épaisseur totale E	Épaisseur minimale E mini	Diamètre face dressée D_2	Diamètre maximal corps D_5	Diamètre minimal corps D_4	Entraxe goujons D_1	Nombre goujons	Diamètre goujons	Longueur goujons	Numéro joint tore type BX	Diamètre extérieur saignée D_3
1 11/16	7 5/8	1 3/4	1 1/2	3 13/16	3 11/16	2 11/16	6	8	3/4	5 1/4	150	2,893
1 13/16	8 3/16	1 25/32	1 9/16	4 3/16	3 27/32	2 13/16	6 5/16	8	7/8	5 1/2	151	3,062
2 1/16	8 3/4	2	1 3/4	4 1/2	4 3/8	3 1/4	6 7/8	8	7/8	6	152	3,395
2 9/16	10	2 1/4	2	5 1/4	5 1/16	3 15/16	7 7/8	8	1	6 3/4	153	4,046
3 1/16	11 5/16	2 17/32	2 1/4	6 1/16	6 1/16	4 13/16	9 1/16	8	1 1/8	7 1/2	154	4,685
7 1/16	19 7/8	4 11/16	4 1/4	12	12 13/16	10 7/8	16 7/8	16	1 1/2	12 3/4	156	9,521

CARACTÉRISTIQUES DES JOINTS TORES A.P.I. TYPE R



section ovale

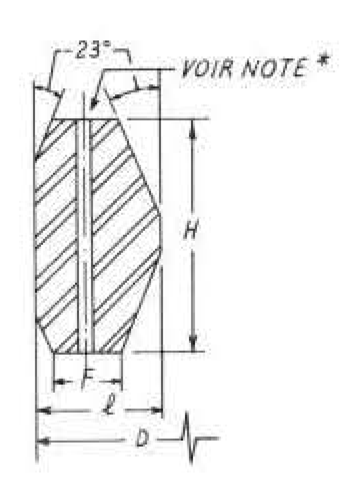
Toutes dimensions en pouces



section octogonale

Numéro	Diamètre moyen D	Largeur totale l	Hauteur ovale H_1	hexag. H_2	Largeur sur flancs (hexag.) F	Distance approx. entre brides
R 20	2 11/16	5/16	9/16	1/2	0,206	5/32
R 23	3 1/4	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 24	3 3/4	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 26	4	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 27	4 1/4	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 31	4 7/8	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 35	5 3/8	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 37	5 7/8	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 39	6 3/8	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 41	7 1/8	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 44	7 5/8	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 45	8 5/16	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 46	8 5/16	1/2	3/4	11/16	0,341	1/8
R 47	9	3/4	1	15/16	0,485	5/32
R 49	10 5/8	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 50	10 5/8	5/8	7/8	13/16	0,413	5/32
R 53	12 3/4	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 54	12 3/4	5/8	7/8	13/16	0,413	5/32
R 57	15	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 63	16 1/2	1	1 5/16	1 1/4	0,681	7/32
R 65	18 1/2	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 66	18 1/2	5/8	7/8	13/16	0,413	5/32
R 69	21	7/16	11/16	5/8	0,305	3/16
R 70	21	3/4	1	1	0,485	3/16
R 73	23	1/2	3/4	11/16	0,341	1/8
R 74	23	3/4	1	15/16	0,485	3/16
R 82	2 1/4	7/16	-	5/8	0,305	3/16
R 84	2 1/2	7/16	-	5/8	0,305	3/16
R 85	3 1/8	1/2	-	11/16	0,341	1/8
R 86	3 9/16	5/8	-	13/16	0,413	5/32
R 87	3 15/16	5/8	-	13/16	0,413	5/32
R 88	4 7/8	3/4	-	15/16	0,485	3/16
R 89	4 1/2	3/4	-	15/16	0,485	3/16
R 90	6 1/8	7/8	-	1 1/16	0,583	3/16
R 91	10 1/4	1 1/4	-	1 1/2	0,879	5/16
R 99	9 1/4	7/16	-	5/8	0,805	3/16

CARACTÉRISTIQUES DES JOINTS TORES A.P.I. TYPE RX

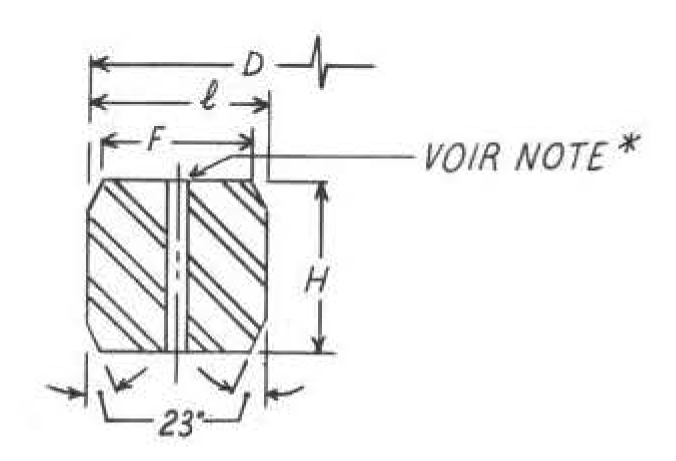


Toutes dimensions en pouces

Numéro	Diamètre extérieur joint tore D	Largeur totale ℓ	Largeur sur flancs F	Hauteur H	Diamètre moyen saignée	Distance approx. entre brides
RX 20	3	11/32	0,182	3/4	2 11/16	3/8
RX 23	3 43/64	15/32	0,254	1	3 1/4	15/32
RX 24	4 11/64	15/32	0,254	1	3 3/4	15/32
RX 26	4 13/32	15/32	0,254	1	4	15/32
RX 27	4 21/32	15/32	0,254	1	4 1/4	15/32
RX 31	5 19/64	15/32	0,254	1	4 7/8	15/32
RX 35	5 51/64	15/32	0,254	1	5 3/8	15/32
RX 37	6 19/64	15/32	0,254	1	5 7/8	15/32
RX 39	6 51/64	15/32	0,254	1	6 3/8	15/32
RX 41	7 35/64	15/32	0,254	1	7 1/8	15/32
RX 44	8 3/64	15/32	0,254	1	7 5/8	15/32
RX 45	8 47/64	15/32	0,254	1	8 5/16	15/32
RX 46	8 3/4	17/32	0,263	1 1/8	8 5/16	15/32
RX 47	9 21/32	25/32	0,407	1 5/8	9	23/32
RX 49	11 3/64	15/32	0,254	1	10 5/8	15/32
RX 50	11 5/32	21/32	0,335	1 1/4	10 5/8	15/32
RX 53	13 11/64	15/32	0,254	1	12 3/4	15/32
RX 54	13 9/32	21/32	0,335	1 1/4	12 3/4	15/32
RX 57	15 27/64	15/32	0,254	1	15	15/32
RX 63	17 25/64	1 1/16	0,582	2	16 1/2	27/32
RX 65	18 59/64	15/32	0,254	1	18 1/2	15/32
RX 66	19 1/32	21/32	0,335	1 1/4	18 1/2	15/32
RX 69	21 27/64	15/32	0,254	1	21	15/32
RX 70	21 21/32	25/32	0,407	1 5/8	21	23/32
RX 73	23 15/32	17/32	0,263	1 1/4	23	19/32
RX 74	23 21/32	25/32	0,407	1 5/8	23	23/32
RX 82	2 43/64	15/32	0,254	1	2 1/4	15/32
RX 84	2 59/64	15/32	0,254	1	2 1/2	15/32
RX 85	3 35/64	17/32	0,263	1	3 1/8	3/8
RX 86	4 5/64	19/32	0,335	1 1/8	3 9/16	3/8
RX 87	4 29/64	19/32	0,335	1 1/8	3 15/16	3/8
RX 88	5 31/64	11/16	0,407	1 1/4	4 7/8	3/8
RX 89	5 7/64	23/32	0,407	1 1/4	4 1/2	3/8
RX 90	6 7/8	25/32	0,479	1 3/4	6 1/8	23/32
RX 91	11 19/64	1 3/16	0,780	1 25/32	10 1/4	3/4
RX 99	9 43/64	15/32	0,254	1	9 1/4	15/32

* Le trou d'égalisation de pression qui figure sur le croquis ci-dessus existe seulement sur les joints tores RX 82 à RX 91

CARACTÉRISTIQUES DES JOINTS TORES A.P.I. TYPE BX

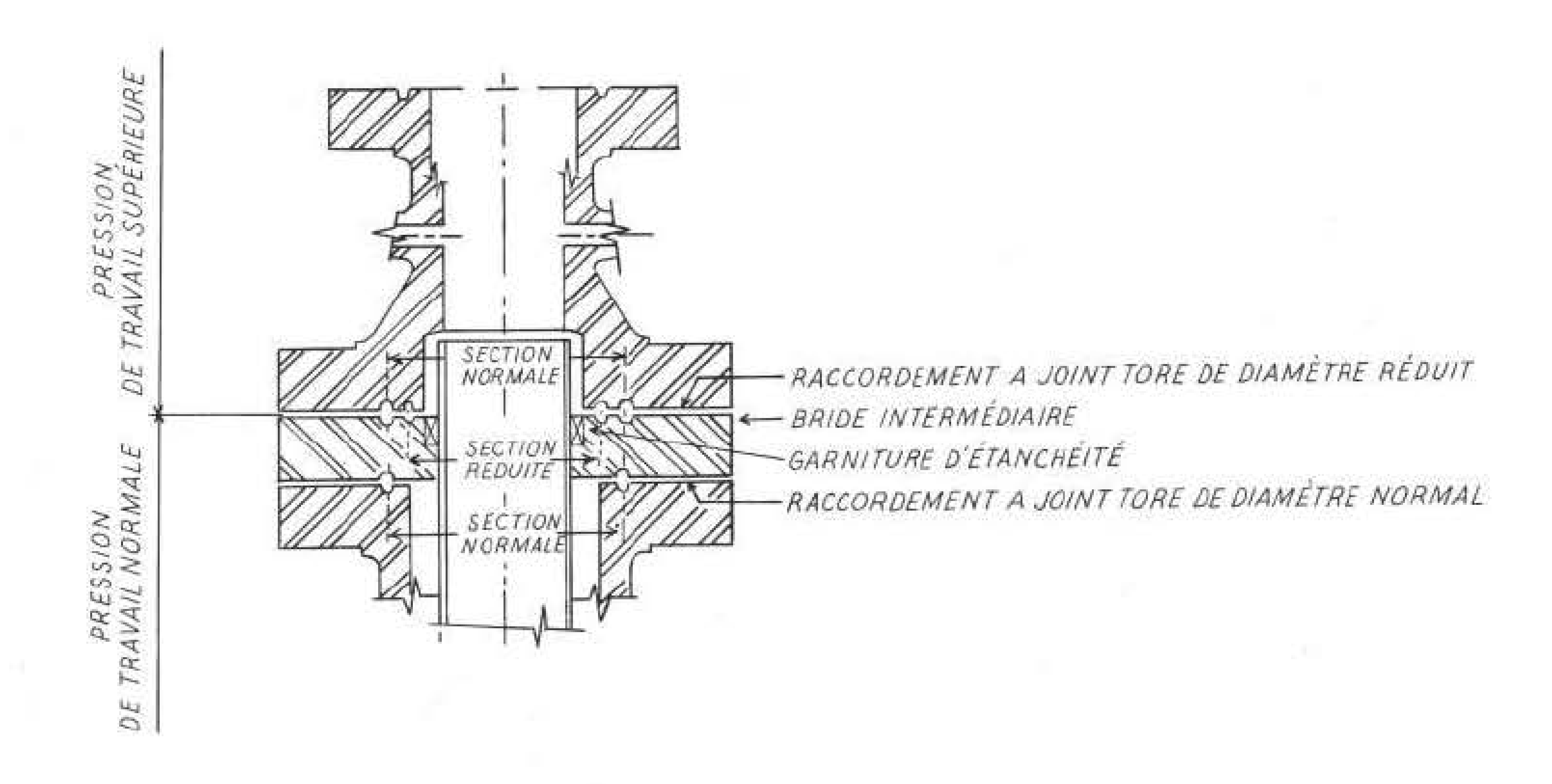


Toutes dimensions en pouces

Numéro	Dimension nominale	Diamètre extérieur joint tore D	Largeur totale ℓ	Largeur sur flancs F	Hauteur H
BX 150	1 11/16	2,842	0,366	0,314	0,366
BX 151	1 13/16	3,008	0,379	0,325	0,379
BX 152	2 1/16	3,334	0,403	0,346	0,403
BX 153	2 9/16	3,974	0,448	0,385	0,448
BX 154	3 1/16	4,600	0,488	0,419	0,488
BX 155	4 1/16	5,825	0,560	0,481	0,560
BX 156	7 1/16	9,367	0,733	0,629	0,733
BX 157	9	11,593	0,826	0,709	0,826
BX 158	11	13,860	0,911	0,782	0,911
BX 159	13 5/8	16,800	1,012	0,869	1,012
BX 160	13 5/8	15,850	0,541	0,408	0,938

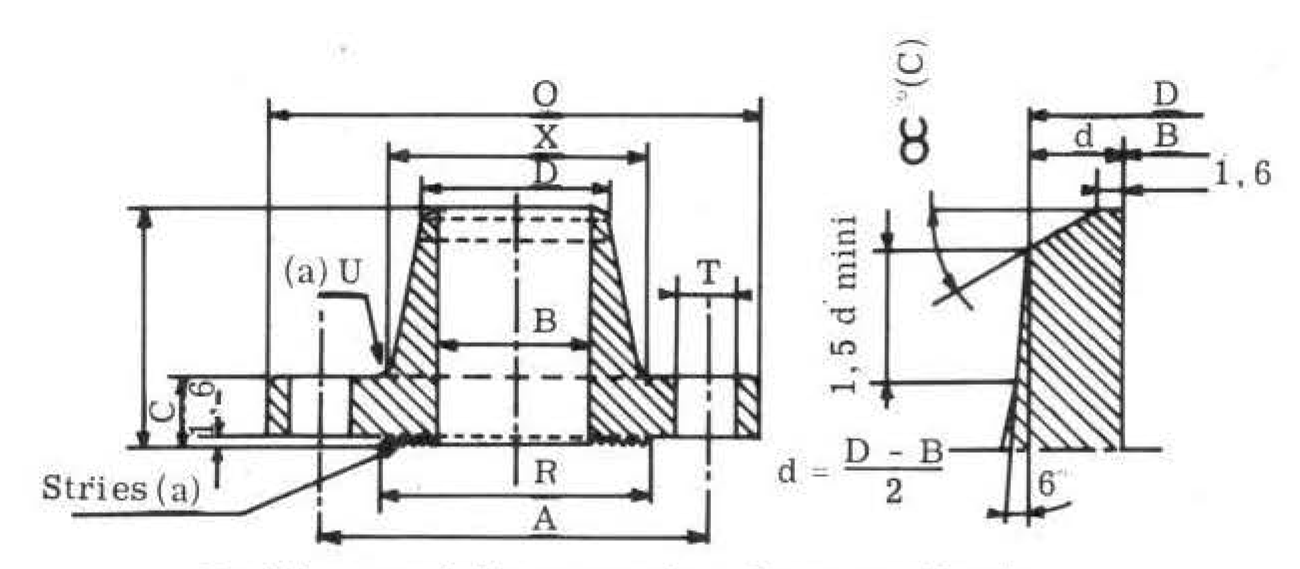
* Tous les joints tores type BX sont munis d'un trou d'égalisation de pression.

BRIDES DE RACCORDEMENT A.P.I. A TAUX DE PRESSION SUPÉRIEURE (Crossover flanges et crossover spools)

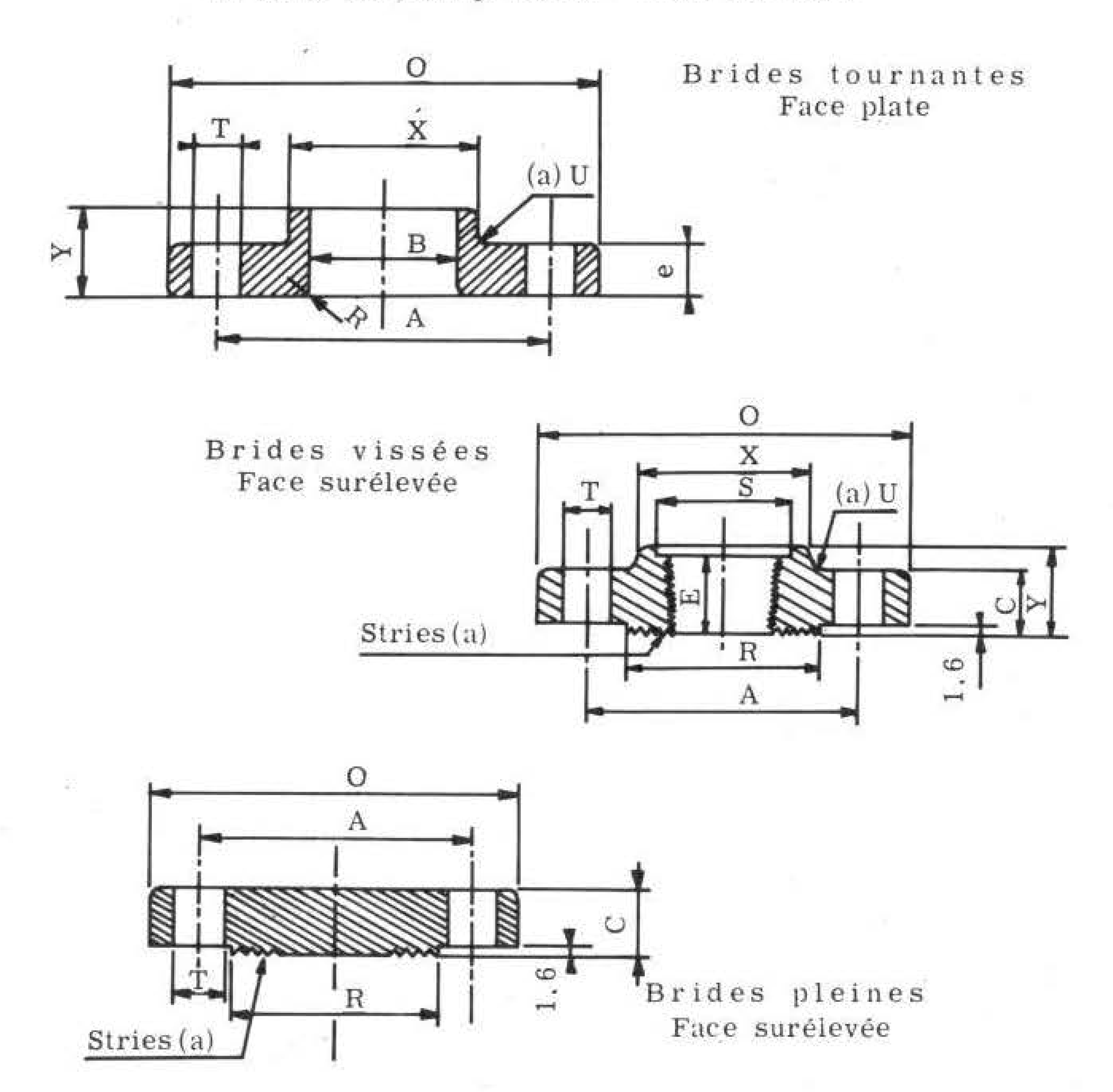


RACCORDEMENT NORMAL A.P.I. 6B				RACCORDEMENT SPÉCIAL		
Dimension nominale	Pres. travail normale		Joint tore normal RX ou R	Joint tore Réduit RX ou R	Pres. travail supérieure	
	kgf/cm²	psi			kgf/cm²	psi
8	140	2000	49	99	210	3000
8	210	3000	49	99	350	5000
8	350	5000	50	47	700	10000
10	140	2000	53	49	210	3000
10	210	3000	53	49	350	5000
10	350	5000	54	50	700	10000
12	140	2000	57	53	210	3000
12	210	3000	57	53	350	5000
13 5/8	350	5000	160	54	700	10000
16	140	2000	65	57	210	3000
16	210	3000	66	57	350	5000
20	140	2000	73	65	210	3000

DIFFÉRENTS TYPES DE BRIDES A.S.A.



Brides welding-neck - Face surélevée



CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.S.A. - 150 psi

Caractéristiques communes aux brides 150 psi								Brides Welding Neck					Brides tournantes - Face plate				Brides vissées		Pleines
					Boulonnerie			B											
Diamètre nominal (in)	Diamètre extérieur (mm)	C (mm)	R (mm)	X (mm)	A (mm)	Boulons	T (mm)	STD (mm)	XST (mm)	Y (mm)	D (mm)	Poids (kgf)	e (mm)	B (mm)	Y (mm)	Poids (kgf)	Y (mm)	Poids (kgf)	Poids (kgf)
1/2	89	11	35	30	60,5	4 x 14	17	15,8	13,9	47,5	21,5	0,9	11	23	16	0,9	16	0,9	0,9
3/4	98,5	12,5	43	38	70	4 x 14	17	20,9	18,8	52,5	27	0,9	12,5	29	16	0,9	16	0,9	0,9
1	108	14,5	51	49	79,5	4 x 14	17	26,6	24,3	55,5	33,5	0,9	14,5	36	17,5	0,9	17,5	0,9	0,9
1 1/4	117,5	16	63,5	59	89	4 x 14	17	35	32,5	57	42,5	1,4	16	44	20,5	1,4	20,5	1,4	1,4
1 1/2	127	17,5	73	65	98,5	4 x 14	17	40,9	38,1	62	48,5	1,8	17,5	50	22	1,4	22	1,4	1,4
2	152,5	19	92	78	120,5	4 x 16	19	52,5	49,2	63,5	60,5	2,7	19	63	25,5	2,3	25,5	2,3	1,8
2 1/2	178	22	105	91	139,5	4 x 16	19	62,7	59	70	73	3,6	22	76	28,5	3,2	28,5	3,2	3,2
3	190,5	24	127	108	152,5	4 x 16	19	77,9	73,7	70	89	4,5	24	91,5	30	3,6	30	3,6	4,1
3 1/2	216	24	140	122	178	8 x 16	19	90,5	85,5	71,5	102	5,4	24	104	32	5	32	5	5,9
4	328,5	24	157	135	190,5	8 x 16	19	102,3	97,2	76	114,5	6,8	24	117	33,5	5,9	33,5	5,9	7,7
5	254	24	186	164	216	8 x 20	23	128,2	122,3	89	141,5	8,6	24	144	36,5	6,8	36,5	6,8	9
6	279,5	25,5	216	192	241,5	8 x 20	23	154	146,3	89	168,5	10,8	25,5	171	39,5	8,6	39,5	8,6	11,7
8	343	28,5	270	246	298,5	8 x 20	23	202,7	193,7	101,5	219	17,6	28,5	223	44,5	13,5	44,5	13,5	20,3
10	406,5	30	324	305	362	12 x 22	25	254,5	247,6	101,5	273	23,4	30	277,5	49	19,4	49	19,4	31,5
12	482,5	31,5	381	365	432	12 x 22	25	304,8	298,4	114,5	324	36	31,5	328	55,5	29	55,5	29	49,5
14	533,5	35	412,5	400	476	12 x 27	30	336,5	330,2	127	255,5	46	35	360	79,5	44,5	57	39	59
16	597	36,5	470	457	539,5	16 x 27	30	387,3	381	127	406,5	57	36,5	411	87,5	57,6	63,5	42	77
18	635	39,5	533,5	505	578	16 x 30	33	438,1	431,8	139,5	457	63	39,5	462	97	66	68,5	54	94
20	698,5	43	584	559	635	20 x 30	33	488,9	482,6	144,5	508	77	43	513	103	83,3	73	70	122,5
24	813	47,5	692	664	749,5	20 x 33	36	590,5	584,2	152,5	609,5	117	47,5	615	111	117	82,5	95	185

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.S.A. - 300 psi

Caractéristiques communes aux brides 300 psi								Brides Welding Neck					Brides tournantes - Face plate				Brides vissées				Pleines
					Boulonnerie			B													
Diamètre nominal (m)	Diamètre extérieur (mm)	C (mm)	R (mm)	X (mm)	A (mm)	Boulons	T (mm)	STD (mm)	XST (mm)	Y (mm)	D (mm)	Poids (kgf)	e (mm)	B (mm)	Y (mm)	Poids (kgf)	Y (mm)	E (mm)	B (mm)	Poids (kgf)	Poids (kgf)
1/2	95	14,5	35	38	66,5	4x14	17	15,8	13,9	52,5	21,5	1,8	14,5	23	22	1,4	22	16	24	1,4	0,9
3/4	117,5	16	43	48	82,5	4x16	19	20,9	18,8	57	27	1,8	16	29	25,5	1,4	25,5	16	29	1,4	1,4
1	124	17,5	51	54	89	4x16	19	26,6	24,3	62	33,5	1,8	17,5	36	27	1,4	27	17,5	36	1,4	1,8
1 1/4	133,5	19	63,5	64	98,5	4x16	19	35	32,5	65	42,5	2,7	19	44	27	1,8	27	20,5	45	1,8	2,7
1 1/2	155,5	20,5	73	70	114,5	4x20	23	40,9	38,1	68,5	48,5	3,6	20,5	50	30	2,7	30	22	51	2,7	3,2
2	165	22	92	84	127	8x16	19	52,5	49,2	70	60,5	4,1	22	63	33,5	3,2	33,5	28,5	64	3,2	3,6
2 1/2	190,5	25,5	105	100	149	8x20	23	62,7	59	76	73	5,4	25,5	76	38	4,5	38	32	76	4,5	5,4
3	209,5	28,5	127	117	168,5	8x20	23	77,9	73,7	79,5	89	6,8	28,5	91,5	43	5,9	43	32	92	5,9	7,2
3 1/2	228,5	30	139,5	133	184	8x20	23	90,5	85,5	81	102	8,1	30	104	44,5	7,7	44,5	36,5	105	7,7	9,5
4	254	31,5	157	146	200	8x20	23	102,3	97,2	85,5	114,5	11,3	31,5	117	47,5	9,9	47,5	36,5	118	9,9	12,2
5	279,5	35	185,5	178	235	8x20	23	128	122,3	98,5	141,5	14,4	35	144	51	12,6	51	43	145	12,6	15,8
6	317,5	36,5	216	206	270	12x20	23	154	146,3	98,5	168,5	19	36,5	171	52,5	17,6	52,5	46	172	17,6	22,5
8	381	41,5	270	260	330	12x22	25	202,7	193,7	111	219	30	41,5	223	62	26,2	62	51	222	26,2	36,5
10	444,5	47,5	324	321	387,5	16x27	30	254,5	247,6	117,5	273	41	47,5	277,5	95,5	41	66,5	55,5	276	36,5	57
12	520,5	51	381	375	451	16x30	33	304,8	298,4	130	324	62	51	328	102	63	73	60,5	329	51,7	82
14	584	54	412,5	425	514,5	20x30	33	336,5	330,2	143	355,5	84	54	360	111	85	76	63,5	360	74	116
16	647,5	57	470	483	571,5	20x33	36	387,3	381,0	146	406,5	111	57	411	121	126	82,5	68,5	412	99	138
18	711	60,5	533,5	533	628,5	24x33	36	438,1	431,8	158,5	457	137	60,5	462	130	156	89	70	462	126	175
20	774,5	63,5	584	587	686	24x33	36	488,9	482,6	162	508	170	63,5	513	139,5	189	95,5	73	513	147	221
24	914,5	70	692	702	813	24x39	42	590,5	584,2	168,5	609,5	246	70	615	152,5	277	106,5	82,5	614	221	338

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.S.A. - 400 psi

Caractéristiques communes aux brides 400 psi								Brides Welding Neck					Brides tournantes - Face plate				Brides vissées				Pleines
					Boulonnerie			B													
Diamètre nominal (in)	Diamètre extérieur (mm)	C (mm)	R (mm)	X (mm)	A (mm)	Boulons	T (mm)	STD (mm)	XST (mm)	Y (mm)	D (mm)	Poids (kgf)	e (mm)	B (mm)	Y (mm)	Poids (kgf)	Y (mm)	E (mm)	S (mm)	Poids (kgf)	Poids (kgf)
1/2	95,5	21	35	38	66,5	4x14	17	15,8	13,9	59	21,5	2,7	14,5	23	22	1,4	28,5	22,5	24	1,4	0,9
3/4	117,5	22,5	43	48	82,5	4x16	19	20,9	18,8	63,5	27	2,7	16	29	25,5	1,4	32	22,5	29	1,4	1,4
1	124	24	51	54	89	4x16	19	26,6	24,3	68,5	33,5	2,7	17,5	36	27	1,8	33,5	24	36	1,8	1,8
1 1/4	133,5	27	63,5	63	98,5	4x16	19	35	32,5	73	42,5	3,2	20,5	44	29	2,7	35	27	45	2,7	2,7
1 1/2	155,5	28,5	73	70	114,5	4x20	23	40,9	38,1	76,5	48,5	4,5	22	50	32	3,2	38,5	28,5	51	3,2	3,6
2	165	32	92	84	127	8x16	19	52,5	49,2	79,5	60,5	5,4	25,5	63	36,5	4,1	43	35	64	4,1	4,5
2 1/2	190,5	35	105	100	149	8x20	23	62,7	59	86	73	8,1	28,5	76	41,5	5,4	48	38,5	76	5,9	6,8
3	209,5	38	127	117	168,5	8x20	23	77,9	73,7	89	89	10,4	32	91,5	46	6,8	52,5	41,5	92	7,2	9
3 1/2	228,5	41,5	139,5	133	184	8x22	25	90,5	85,5	92	102	11,7	35	104	49	9	55,5	46	105	9,5	13
4	254	41,5	157	146	200	8x22	25	102,3	97,2	95,5	114,5	15,8	35	117	51	11,3	57	43	118	11,7	14,9
5	279,5	44,5	185,5	178	235	8x22	25	128,2	122,3	108	141,5	19,4	38	144	54	13	60,5	49,5	145	14	19,8
6	317,5	48	216	206	270	12x22	25	154	146,3	109,5	168,5	25,7	41,5	171	57	19	63,5	52,5	172	19,8	27,4
8	381	54	270	260	330	12x27	30	202,7	193,7	124	219	40	47,5	223	68,5	29	75	57,5	222	29	45
10	444,5	60,5	324	321	387,5	16x30	33	254,5	247,6	130,5	273	57	54	277,5	101,5	50,5	79,5	62	276	41	70
12	520,5	63,5	381	375	451	16x33	36	304,8	298,4	143	324	80	57	328	108	68,5	86	67	329	58	102
14	584	67	412,5	425	514,5	20x33	36	336,5	330,2	155,5	355,5	105	60,5	360	117,5	95	90,5	70	360	86	142
16	647,5	70	470	483	571,5	20x36	39	387,3	381	159	406,5	133	63,5	411	127	126	100	75	412	114	179
18	711	73	533,5	533	628,5	24x36	39	438,1	431,8	171,5	457	162	66,5	462	136,5	156	105	76,5	462	142	226
20	774,5	76,5	584	587	686	24x39	42	448,9	482,6	175	508	200	70	513	146	189	108	79,5	513	170	280
24	914,5	82,5	692	702	813	24x45	48	590,5	584,2	181	609,5	288	76	615	159	277	121	89	614	242	422

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.S.A. - 600 psi

Caractéristiques communes aux brides 600 psi								Brides Welding Neck					Brides tournantes - Face plate				Brides vissées				Pleines
					Boulonnerie			B													
Diamètre nominal (in)	Diamètre extérieur (mm)	C (mm)	R (mm)	X (mm)	A (mm)	Boulons	T (mm)	STD (mm)	XST (mm)	Y (mm)	D (mm)	Poids (kgf)	e (mm)	B (mm)	Y (mm)	Poids (kgf)	Y (mm)	E (mm)	S (mm)	Poids (kgf)	Poids (kgf)
1/2	95,5	21	35	38	66,5	4x14	17	15,8	13,9	59	21,5	2,7	14,5	23	22	1,4	28,5	22,5	24	1,4	0,9
3/4	117,5	22,5	43	48	82,5	4x16	19	20,9	18,8	63,5	27	2,7	16	29	25,5	1,4	32	22,5	29	1,4	1,4
1	124	24	51	54	89	4x16	19	26,6	24,8	68,5	33,5	2,7	17,5	36	27	1,8	33,5	24	36	1,8	1,8
1 1/4	133,5	27	63,5	63	98,5	4x16	19	35	32,5	73	42,5	3,2	20,5	44	28,5	2,7	35	27	45	2,7	2,7
1 1/2	155,5	28,5	73	70	114,5	4x20	23	40,9	38,1	76,5	48,5	4,5	22	50	32	3,2	38,5	28,5	51	3,2	3,6
2	165	32	92	84	127	8x16	19	52,5	49,2	79,5	60,5	5,4	25,5	63	36,5	4,1	43	35	64	4,1	4,5
2 1/2	190,5	35	105	100	149	8x20	23	62,7	59	86	73	8,1	28,5	76	41,5	5,4	48	38,5	76	5,9	6,8
3	209,5	38	127	117	168,5	8x20	23	77,9	73,7	89	89	10,4	32	91,5	46	6,8	52,5	41,5	92	7,2	9
3 1/2	228,5	41,5	139,5	133	184	8x22	25	90,5	85,5	92	102	11,7	35	104	49	9	55,5	46	105	9,5	13
4	273	44,5	157	158	216	8x22	25	102,3	97,2	108	114,4	19	38	117	54	16,2	60,5	48	118	16,7	18,5
5	330	51	185,5	189	266,5	8x27	30	128,2	122,3	121	141,5	30,6	44,5	144	60,5	27,5	67	54	145	28,5	30,6
6	355,5	54	216	222	292	12x27	30	154	146,3	124	168,5	36,5	47,5	171	66,5	35	74	57,5	172	36	39,7
8	419	62	270	273	349	12x30	33	202,7	193,7	140	219	53	55,5	223	76	50,5	82,5	63,5	222	51,7	63
10	508	70	324	343	432	16x33	36	254,5	247,6	159	273	85	63,5	277,5	111	88	92	71,5	276	80	104
12	559	73	381	400	489	20x33	36	304,8	298,4	162	324	102	66,5	328	117,5	108	98,5	76,5	329	97	133
14	603	76,5	412,5	432	527	20x36	39			171,5	355,5	157	70	360	127	131	100	79,5	360	117	170
16	686	82,5	470	495	603	20x39	42			184,5	406,5	217	76	411	139,5	180	113	84,5	412	165	237
18	743	89	533,5	546	654	20x42	45			190,5	457	250	82,5	462	152,5	212	124	86	462	215	299
20	813	95,5	584	610	724	24x42	45			197	508	310	89	513	165	272	130,5	89	513	276	386
24	940	108	692	718	838,2	24x48	51			209,5	609,5	440	101,5	615	184	390	146	98,5	614	395	530

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.S.A. - 900 psi

Caractéristiques communes aux brides 900 psi								Brides Welding Neck					Brides tournantes - Face plate				Brides vissées				Pleines
					Boulonnerie			B													
Diamètre nominal (in)	Diamètre extérieur (mm)	C (mm)	R (mm)	X (mm)	A (mm)	Boulons	T (mm)	STD (mm)	XST (mm)	Y (mm)	D (mm)	Poids (kgf)	e (mm)	B (mm)	Y (mm)	Poids (kgf)	Y (mm)	E (mm)	S (mm)	Poids (kgf)	Poids (kgf)
1/2	120,5	28,5	35	38	82,5	4x20	23			67	21,5	4,1	22	23	32	4,1	38,5	28,5	24	4,1	1,8
3/4	130	32	43	44	89	4x20	23			76,5	27	4,1	25,5	29	35	4,1	41,5	32	29	4,1	2,7
1	149	35	51	52	101,5	4x22	25			79,5	33,5	4,1	28,5	36	41,5	4,1	48	35	36	4,1	4,1
1 1/4	159	35	63,5	63	111	4x22	25			79,5	42,5	4,5	28,5	44	41,5	4,5	48	36,5	45	4,5	4,5
1 1/2	178	38,5	73	70	124	4x27	30			89	48,5	6,3	32	50	44,5	6,3	51	38,5	51	6,3	6,3
2	216	44,5	92	105	165	8x22	25			108	60,5	11,3	38	63	57	11,3	63,5	44,5	64	11,3	11,3
2 1/2	244,5	48	105	124	190,5	8x27	30			111,5	73	16,2	41,5	76	63,5	15,8	70	54	76	16,2	15,8
3	241,5	44,5	127	127	190,5	8x22	25			108	89	14,4	38	91,5	54	13,5	60,5	48	92	14	14,4
3 1/2	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	292	51	157	159	235	8x30	33			120,5	114,5	23	44,5	117	70	23	76,5	54	118	24	24
5	349	57,5	185,5	190	279,5	8x33	36			133,5	141,5	39,7	51	144	79,5	36,5	86	60,5	145	37,5	40
6	381	62	216	235	317,5	12x30	33			146	168,5	49,5	55,5	171	85,5	47,5	92	63,5	172	48,5	52
8	470	70	270	298	393,5	12x36	39			168,5	219	84,5	63,5	223	114,5	84,5	108	70	222	78	89
10	546	76,5	324	368	470	16x36	39			190,5	273	121	70	277,5	127	125	114,5	78	275	110	131
12	609,5	86	381	419	533,5	20x36	39			206,5	324	169	79,5	328	143	168	124	82,5	329	147	186
14	641,5	92	412,5	451	559	20x39	42			219	355,5	253	85,5	360	155,5	177	136,5	89	360	171	222
16	705	95,5	470	508	616	20x42	45			222,5	406,5	308	89	411	165	220	140	92	412	207	289
18	787,5	108	533,5	565	686	20x48	51			235	457	416	101,5	462	190,5	302	159	95,5	462	290	396
20	857	114,5	584	622	749,5	20x52	55			254	508	520	108	513	209,5	390	165,5	98,5	513	357	500
24	1041,5	146	692	749	901,5	20x64	67			298,5	609,5	955	139,5	615	266,5	747	209,5	108	614	635	945

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.S.A. - 1 500 psi

Caractéristiques communes aux brides 1500 psi								Brides Welding Neck					Brides tournantes - Face plate				Brides vissées				Pleines
					Boulonnerie			B													
Diamètre nominal (in)	Diamètre extérieur (mm)	C (mm)	R (mm)	X (mm)	A (mm)	Boulons	T (mm)	STD (mm)	XST (mm)	Y (mm)	D (mm)	Poids (kgf)	e (mm)	B (mm)	Y (mm)	Poids (kgf)	Y (mm)	E (mm)	S (mm)	Poids (kgf)	Poids (kgf)
1/2	120,5	28,5	35	38	82,5	4x20	23			67	21,5	4,1	22	23	32	4,1	38,5	28,5	24	4,1	1,8
3/4	130	32	43	44	89	4x20	23			76,5	27	4,1	25,5	29	35	4,1	41,5	32	29	4,1	2,7
1	149	35	51	52	101,5	4x22	25			79,5	33,5	4,1	28,5	36	41,5	4,1	48	35	36	4,1	4,1
1 1/4	159	35,5	63,5	63	111	4x22	25			79,5	42,5	4,5	29	44	41,5	4,5	48	36,5	45	4,5	4,5
1 1/2	178	38,5	73	70	124	4x27	30			89	48,5	6,3	32	50	44,5	6,3	51	38,5	51	6,3	6,3
2	216	44,5	92	105	165	8x22	25			108	60,5	11,3	38	63	57	11,3	63,5	44,5	64	11,3	11,3
2 1/2	244,5	48	105	124	190,5	8x27	30			111	73	16,2	41,5	76	63,5	15,8	70	54	76	16,2	15,8
3	266,5	54	127	133	203	8x30	33			124	89	20,6	47,5	91,5	73	20	79,5	57,5	92	20,6	20,6
3 1/2	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	311	60,5	157	162	241,5	8x33	36			130,5	114,5	33	54	117	90,5	34	97	63,5	118	33	33
5	374,5	79,5	185,5	197	292	8x39	42			162	141,5	59,5	73	144	105	62	111,5	70	145	59,5	64
6	393,5	89	216	229	317,5	12x36	39			178	168,5	74	82,5	171	119	76,5	125,5	76,5	172	74	72
8	482,5	98,5	270	292	393,5	12x42	45			219	219	123	92	223	143	129	149,5	82,5	222	116	136
10	584	114,5	324	368	482,5	12x48	51			260,5	273	204	108	277,5	178	218	165,5	90,5	276	196	229
12	673	130,5	381	451	571,5	16x52	55			289	324	310	124	328	219	346	187,5	98,5	329	300	350
14	749,5	140	412,5	495	635	16x60	63			305	355,5		133,5	360	244,5				360		
16	825,5	152,5	470	552	705	16x64	67			317,5	406,5		146	411	260,5				412		
18	914,5	168,5	533,5	597	774,5	16x72	75			333,5	457		162	462	276				462		
20	984	184,5	584	641	832	16x76	79			362	508		178	513	292				513		
24	1168,5	209,5	698	762	990,5	16x90	93			413	609,5		203	615	330				614		

CARACTÉRISTIQUES DES BRIDES A.S.A. - 2 500 psi

Caractéristiques communes aux brides 2500 psi								Brides Welding Neck					Brides tournantes - Face plate				Brides vissées				Pleines
					Boulonnerie			B													
Diamètre nominal (in)	Diamètre extérieur (mm)	Epaisseur e + 1,6 (mm)	R (mm)	X (mm)	A (mm)	Boulons	T (mm)	STD (mm)	XST (mm)	Y (mm)	D (mm)	Poids (kgf)	e (mm)	B (mm)	Y (mm)	Poids (kgf)	Y (mm)	E (mm)	S (mm)	Poids (kgf)	Poids (kgf)
1/2	123,5	36,5	35	43	89	4x20	23			79,5	21,5	3,6	30	23	39,5	3,2	46	35	24	3,2	3,2
3/4	139,5	38,5	43	51	95,5	4x20	23			86	27	4,1	32	29	43	3,6	49,5	38,5	29	4,1	4,5
1	159	41,5	51	57	108	4x22	25			95,5	33,5	5,9	35	36	47,5	5,4	54	41,5	36	5,4	5,4
1 1/4	184	44,5	63,5	73	130	4x27	30			102	42,5	9	38	44	52,5	7,7	59	44,5	45	8,1	8,1
1 1/2	203	51	73	79	146	4x30	33			117,5	48,5	12,6	44,5	50	60,5	10,8	67	51	51	11,3	11,3
2	235	57,5	92	95	171,5	8x27	30			133,5	60,5	19	51	63	70	16,7	76,5	57,5	64	17,1	17,6
2 1/2	266,5	63,5	105	114	197	8x30	33			149,5	73	23,4	57	76	79,5	24	86	63,5	76	24,5	25,2
3	305	73	127	133	228,5	8x33	36			175	89	42,5	66,5	91,5	92	36	98,5	70	92	37,5	38,7
3 1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	355,5	82,5	157	165	273	8x39	42			197	114,5	66	76	117	108	55	114,5	76,5	118	57	60
5	419	98,5	185,5	203	324	8x45	48			235	141,5	110	92	144	130	92	136,5	82,5	145	95	101
6	482,5	114,5	216	235	368,5	8x52	55			279,5	168,5	170	108	171	152,5	142	159	89	172	146	156
8	552,5	133,5	270	305	438	12x52	55			324	219	259	127	223	178	213	184,5	102	222	218	240
10	673	171,5	324	375	539,5	12x64	67			425,5	273	480	165	277,5	228,5	405	235	114,5	276	417	462
12	762	190,5	381	441	619	12x72	75			470	324	726	184	328	259	570	260,5	127	329	590	660
14																					
16																					
18																					
20																					
24																					

CHAPITRE IV

chapitre IV

PERTES DE CHARGE

SOMMAIRE

0. SYMBOLES

Symboles	Définitions	Unités pratiques
B	Facteur volumétrique du liquide Rapport volume condition de fond/volume condition standard	m^3/m^3
d	Diamètre intérieur des canalisations	mm
f	Coefficient de frottement	
g	Densité du gaz par rapport à l'air	-
G_l	Densité d'un liquide (eau = 1)	
L	Longueur d'une conduite	km
P_0	Pression de base	bars
P_1	Pression amont d'une conduite	bars
P_2	Pression aval d'une conduite	bars
Q	Débit à la température T_0 et pression P_0	m^3/j
R	Rapport gaz (conditions P_0, T_0)/liquide (condition stockage)	m^3/m^3
S	Solubilité du gaz (P_0, T_0) dans le liquide	m^3/m^3
T	Température moyenne de la canalisation	°Kelvin
T_0	Température de base	°Kelvin
V_w	Production d'eau par rapport à l'huile de stockage	m^3/m^3
X	Différence de niveau	m
Z	Coefficient de compressibilité d'un gaz	
μ_g	Viscosité du gaz à la pression P	cPo
μ_l	Viscosité du liquide	cPo
ρ_F	Masse volumique d'un fluide diphasique	kg/m^3
ρ_a	Masse volumique standard de l'air	kg/m^3

1. GAZ

1.1. Canalisations horizontales

1.1.1. FORMULE DE WEYMOUTH

$$P_1^2 - P_2^2 = (Q \times \frac{P_0}{T_0})^2 \times \frac{G_g . T . L . f . z}{d^5} \times 7,62 \times 10^5 \qquad (1.1.1)$$

Cette formule suppose :

a) Que la variation d'énergie cinétique est nulle ;

b) Que l'écoulement est régulier et isotherme ;

c) Que la canalisation est horizontale ;

d) Que le travail réalisé par le gaz est nul.

Le coefficient de frottement f peut être obtenu par les figures IV. 1, IV. 2 et IV. 3.

La viscosité du gaz dont on a besoin pour calculer le nombre de Reynolds peut être obtenu à partir de l'abaque II. 7.

Le facteur de compressibilité est fourni par les abaques II.3 et II.6 (voir paragraphe 2.2.2)

1. 1. 2. ABAQUE DE LEFEVRE (A. F. T. P.) (fig. IV.4 à IV. 14)

Pour déterminer la perte de charge, on procède de la façon suivante :

a) Se reporter à la page du diamètre considéré ou à celle correspondant à la valeur la plus voisine ;

b) Repérer sur l'une des échelles des abscisses la valeur du débit ;

c) Suivre la ligne verticale du quadrillage correspondant à la valeur du débit jusqu'à sa rencontre avec la courbe correspondant à la viscosité dynamique en centipoises. Le point d'intersection donne en ordonnée la valeur de la perte de charge ;

d) Multiplier la valeur lue de la perte de charge par la longueur de la conduite en kilomètres et diviser par la moyenne arithmétique des poids spécifiques en kg/m^3 à l'entrée et à la sortie de la canalisation.

Nota

- Les droites inclinées à 45° correspondent à l'écoulement laminaire et les courbes de plus grande pente à l'écoulement turbulent.

- Dans le cas où le diamètre de la canalisation ne correspond pas exactement à celui d'un abaque, il est en général suffisant d'apporter une correction à la valeur de la perte de charge lue, inversement proportionnelle à la puissance 4 du diamètre, dans le cas de l'écoulement laminaire, et inversement proportionnelle à la puissance 5 du diamètre, dans le cas de l'écoulement turbulent.

- Les tableaux I et II donnent les valeurs des corrections.

- Les abaques comportent également une échelle des vitesses établies dans le cas d'un gaz ou d'une vapeur de masse volumique 1 kg/m^3. Il suffit, pour obtenir la valeur réelle, de diviser par la masse volumique en kg/m^3.

1.2. Canalisations en pente

1. 2. 1. FORMULE DE FERGUSON

$$P_1^2 - e^s\, P_1^2 = \left(Q \frac{P_0}{T_0}\right)^2 \times \frac{G_g . T . f . Z . L_r}{d^5} \times 7,62 \times 10^5 \qquad (1.2.1)$$

avec : $e = 2,7183$

$s = 0,0685\ G_g . X / T . Z$

si la pente est uniforme :

$$L_r = \frac{e^S - 1}{S} . L = J.L \qquad \text{avec} \qquad J = \frac{e^S - 1}{S}$$

si la pente n'est pas uniforme, le profil en long de la canalisation doit être divisé en éléments de pente uniforme tels que :

$$L_r = L_1 J_1 + L_2 e^{S_1} J_2 + L_3 e^{S_2} J_3 + \ldots + L_n e^{S_{n-1}} J_n$$

Les suppositions faites dans cette formule sont les mêmes que celles de Weymouth.

1.3. Canalisations en parallèle

$$P_1^2 - P_2^2 = (Q\frac{P_0}{T_0})^2 \frac{G_g . T . L . Z}{\left(\frac{d_1^{2,5}}{f_1^{0,5}} + \frac{d_2^{2,5}}{f_2^{0,5}} + \ldots + \frac{d_n^{2,5}}{f_n^{0,5}}\right)^2} \times 7,62 \times 10^5 \qquad (1.3)$$

dans laquelle $d_1, d_2, \ldots d_n$, sont les diamètres intérieurs des différentes canalisations de coefficients respectifs $f_1, f_2, \ldots f_n$

1.4. Canalisations verticales

1.4.1 ECOULEMENT ASCENDANT (production)

1.4.1.1. Formule de R.V. Smith

$$P_2^2 - e^S P_1^2 = \frac{Q^2 . Gg . T . X . f . Z}{d^5} . \frac{e^S - 1}{S} \times 0,925 \times 10^{-2} \qquad (1.4.1.1)$$

Q étant mesuré aux conditions de référence : 1,01 bar et 15,6°C

si l'écoulement est annulaire : $d^5 = (d_1 + d_2)^2 (d_1 - d_2)^3$.

$$S = 0,0685 \; G_g X/T. Z$$

En plus des réserves faites précédemment, cette formule suppose un coefficient de compressibilité effectif constant et une température moyenne effective constante.

1.4.1.2. Formule de Poettmann

$$(P_2 - P_1)^2 = 1,598 \times 10^{-5} \; \frac{f . Q^2 . G_g^2}{d^5} \times \frac{X_S^2 . X}{X_S - X} \qquad (1.4.1.2)$$

Q étant mesuré aux conditions de référence : 1,01 bar et 15,6°C

avec :

$$X_S = 29,21 \frac{T}{G} (I_2 - I_1)$$

et :

$$I_2 = \int_{0,2}^{P_{r_2}} \frac{Z}{P_r} d\, P_r \qquad \text{et} \qquad I_1 = \int_{0,2}^{P_{r_1}} \frac{Z}{P_r} d\, P_r$$

Les tableaux III, IV et V donnent les valeurs de I_2 et I_1, en fonction des pressions et températures pseudo-réduites.

Limite d'utilisation de cette formule R $> 7000\ m^3/m^3$

Si l'analyse du gaz n'est pas connue, G_g peut être obtenu à l'aide de la figure IV. 15.

1.4.2. ECOULEMENT DESCENDANT (INJECTION)

1.4.2.1. La formule de R.V. Smith devient :

$$e^S\ P_1^2 - P_2^2 = \frac{Q^2 . G_g . T . X . f . Z}{d^5} . \frac{e^S - 1}{S} . 0,925.10^{-2} \quad (1.4.2.1)$$

Q étant mesuré aux conditions de référence : 1,01 bar et 15,6°C.

1.4.2.2. La formule de Poettmann devient :

$$(P_2 - P_1)^2 = 1,598 \times 10^{-5} \frac{f . Q^2 . G_g^2}{d^5} \times \frac{X_S^2 . X}{X_S + X} \quad (1.4.2.2)$$

2. LIQUIDES

2.1. Abaques de Lefèvre (A.F.T.P.) (fig. IV. 16 à IV. 27)

Pour déterminer la perte de charge dans une conduite, il faut :

1) Sélectionner l'abaque correspondant au diamètre du tube pour lequel on veut faire le calcul ou celui le plus approchant;

2) Repérer sur l'échelle des abscisses la valeur du débit et suivre une ligne verticale à partir du point précédemment repéré, jusqu'à sa rencontre avec la courbe correspondant à la viscosité du fluide en centistokes ;

3) Lire à partir de ce point sur l'échelle des ordonnées la valeur de la perte de charge qui est donnée pour le cas d'un liquide de densité 1 en kg/cm^2 par kilomètre de canalisation.

4) Multiplier la valeur trouvée par la densité du liquide et par la longueur de la tuyauterie exprimée en kilomètres.

Les tableaux I et II donnent les valeurs des corrections à effectuer dans le cas où le diamètre de la canalisation ne correspond pas exactement à celui d'un abaque.

3. FLUIDES BIPHASIQUES

3.1. Canalisations horizontales

3.1.1. METHODES DE BERTUZZI, TEK ET POETTMANN (fig. IV.28)

Cette méthode s'applique seulement aux fluides dont le nombre de Reynolds R_L du liquide est supérieur à 10 000 ($R_L = \frac{VD\rho}{\mu}$)

3.1.1.1. Marche à suivre :

a) Calculer le débit massique Q. M :

Q : Débit de liquide en m^3/j dans les conditions de stockage

M : Masse totale de gaz et de liquide en kg associée à 1 m^3 de liquide dans les conditions de stockage

$$M = 10^3\, G_l + G_g\, R \times \rho_a \qquad (3.1.1.1.a)$$

b) Déterminer d en pouces ;

c) Calculer : $R \frac{G_g}{G_l}$

d) Calculer : $\mu_g^{r_1} \times \mu_l^{r_2} / \rho_F$

$r_1 = 0{,}12\ a \qquad r_2 = 0{,}12\ b \qquad$ avec : $a = \frac{K}{1+K}$, $b = e^{-0{,}1\,K}$ et

$$K = \frac{\text{Masse de gaz}}{\text{Masse de liquide}}$$

$$\rho_F = \frac{M}{V_m} \quad \text{et} \quad V_m = B + \frac{P_o\, T\, Z}{P\, T_o}(R - S) \qquad (3.1.1.1.b)$$

S : peut être négligé dans le cas eau-gaz ou si la pression P est faible.

Dans ce cas :

$$V_m = 1 + \frac{P_o\, T\, Z}{P\, T_o} \times R \qquad (3.1.1.1.c)$$

La viscosité du gaz peut être obtenue par les figures II.6 et II.7.

La viscosité de l'huile peut être obtenue par la figure II.9, graphique II.

e) Déterminer le facteur de correction de $\frac{dP}{dL}$ à l'aide de la figure IV.29.

f) Déterminer la variation de la pression le long de la canalisation par estimations successives. Lire la pression cherchée à la longueur désirée.

Précision statistique : $\frac{\text{valeur calculée - valeur mesurée}}{\text{valeur mesurée}} \simeq +\ 15\,\%$

3.1.1.2. Exemple

Un puits produit en gas-lift 63,5 m^3/j d'huile de stockage avec un G.O.R. total de 178 m^3/m^3 (1,014 bar, 15,6°C). Une canalisation de 2" (50,9 mm de diamètre intérieur) de 305 m de long, le relie à un séparateur opérant à 3,5 bars absolus.

Calculer :

a) La pression en tête de puits ;

b) La pression en tête de puits si le 2" est remplacé par un 3" puis un 4".

Données

$T = 24°C$ $\mu_g = 0{,}014$ cPo à 24°C et 3,5 bars ;

$G_g = 0{,}65$ $\mu_L = 0{,}60$ cPo à 24°C et 3,5 bars ;

$G_l = 0{,}8$

Solutions

1) Calculer Q.M :

$Q = 63{,}5\ m^3/j$

$M = 10^3\ G_l + G_g.R.1{,}223 = 10^3.0{,}8 + 0{,}65.178.1{,}223 = 941{,}5\ kg/m^3$ de liquide

Q.M = 59.785 kg/j (pour utiliser l'abaque Q.M = 59.785x2,2046) ;

2) d = 1,995"

3) Calculer $R\ \frac{G_g}{G_l}$

$$\frac{R.G_g}{G_l} = \frac{178.0{,}65}{0{,}8} = 144{,}6 \quad \text{(pour l'abaque } \frac{R.G_g}{G_1} = 144{,}6 \times 5{,}6145)$$

4) Calculer $\mu_g^{r_1}.\mu_L^{r_2}/\rho_F$

La viscosité du fluide dans les conditions de sortie est utilisée. Si la chute de pression est estimée à 7 bars, la variation de la viscosité du fluide en fonction de la pression peut être négligée. De même, si la pression est faible, la solubilité du gaz peut être négligée.

$$K = \frac{R.G_g.1{,}223}{10^3\ G_l} = \frac{144{,}6\ .\ 1{,}223}{10^3} = 0{,}177$$

$$a = \frac{K}{K+1} = 0{,}150 \qquad \mu_g^{r_1} = 0{,}926$$

$$b = \frac{1}{e^{0{,}1\ K}} = 0{,}982 \qquad \mu_L^{r_2} = 0{,}941$$

$$r_1 = 0{,}12\ a = 0{,}018 \qquad \mu_g^{r_1}.\mu_L^{r_2} = 0{,}872$$

$$r_2 = 0{,}12\ b = 0{,}118 \qquad \rho_F = \frac{M}{V_m} = \frac{941{,}5}{V_m}$$

$$V_m = B + \frac{P_o\ T\ Z\ R}{P\ T_o} = 1 + \frac{1{,}01\ .\ 297\ .\ 178}{288{,}6}\ .\ \frac{Z}{P} = 1 + 185\ \frac{Z}{p}$$

Nous supposons Z = 1 et nous calculons $\frac{Z}{P}$ puis V_m, ρ_F et $\mu_g^{r_1} \cdot \mu_L^{r_2} / \rho_F$ pour P = 3,5 ; 4 ; 4,5 ; 5 ; 5,5 ; 6 ; 6,5 et 7 bars

La figure IV.28 donne ensuite les valeurs de $\frac{dP}{dL}$.

P bars abs. (1)	V_m (2)	$\rho_F = \frac{M}{V_m}$ (3)	$\frac{\mu_g^{r_1} \cdot \mu_l^{r_2}}{\rho_F}$ (4)	(4).5,93 (5)	$\frac{dP}{dL}$ $\frac{psi}{100\ ft}$ (6)	$\frac{dP}{dL}$ bar/m (7)
3,5	53,86	17,47	49,86 10^{-3}	0,296	5,7	1,29 10^{-2}
4	47,25	19,91	43,75 10^{-3}	0,259	5	1,13 10^{-2}
4,5	42,11	22,34	38,99 10^{-3}	0,231	4,2	0,95 10^{-2}
5	38	24,75	35,19 10^{-3}	0,209	3,8	0,86 10^{-2}
5,5	34,64	27,16	32,07 10^{-3}	0,190	3,7	0,84 10^{-2}
6	31,83	29,55	29,47 10^{-3}	0,175	3,5	0,79 10^{-2}
6,5	29,46	31,93	27,28 10^{-3}	0,162	3,3	0,75 10^{-2}
7	27,43	34,29	25,40 10^{-3}	0,151	3,0	0,68 10^{-2}

Dans l'abaque μ_g et μ_r sont exprimés en lb/ft.s - 5,93 = $(0,672\ 10^{-4})^{r_1 + r_2}$

5) Déterminer le facteur de correction de $\frac{dP}{dL}$ (fig. IV.29) :

$$\frac{QM}{d} = \frac{59785}{50{,}9} = 1180 \text{ kg/j/mm}$$

(pour utiliser l'abaque 1180 x 672)

ce qui donne un facteur de correction de 1,21.

P_{bar} abs.	$\frac{dP}{dL}$ bar/m	$\frac{dP}{dL}$ corrigé bar/m
3,5	1,29 x 10^{-2}	1,56 x 10^{-2}
4	1,13 x 10^{-2}	1,37 x 10^{-2}
4,5	0,95 x 10^{-2}	1,15 x 10^{-2}
5	0,86 x 10^{-2}	1,04 x 10^{-2}
5,5	0,84 x 10^{-2}	1,02 x 10^{-2}
6	0,79 x 10^{-2}	0,96 x 10^{-2}
6,5	0,75 x 10^{-2}	0,91 x 10^{-2}
7	0,68 x 10^{-2}	0,82 x 10^{-2}

6) Intégrer $\frac{dP}{dL}$:

P	ΔP	$\frac{dP}{dL}$ corrigé	$\frac{dP}{dL}$ moy.	ΔL m	L m
3,5		1,56			
4	0,5	1,37	1,465 10^{-2}	34	34
4,5	0,5	1,15	1,26 10^{-2}	40	74
5	0,5	1,04	1,145 10^{-2}	44	118
5,5	0,5	1,02	1,03 10^{-2}	48	166
6	0,5	0,96	0,99 10^{-2}	50	216
6,5	0,5	0,91	0,935 10^{-2}	53	269
7	0,5	0,82	0,865 10^{-2}	58	327

Le tracé de P en fonction de L donne une pression de 6,7 bars absolus pour 305 m de canalisation. Soit une perte de charge de 3,2 bars. Une procédure identique donne une pression de 4,07 bars absolus pour la canalisation de 3" et 3,6 bars absolus pour celle de 4".

3.2. Canalisations verticales

3.2.1. PRINCIPE DE LA METHODE DE POETTMANN ET CARPENTER

1) Calculer Q.M

$$M = 10^3 G_o + R \times G_g \times \rho_a + 10^3 \rho_w V_w \qquad (3.2.1.a)$$

2) En partant de la pression de référence (la pression tubing ou la pression de fond) supposer des variations de pression le long du tubing et calculer ρ_F

$$\rho_F = \frac{M}{V_m} \qquad (3.2.1.b)$$

V_m est le volume en m^3 du mélange gaz, huile et eau à la pression P et à la température moyenne T par m^3 d'huile de stockage.

$$V_m = B + \frac{P_o T Z}{P T_o} (R - S) + V_w \qquad (3.2.1.c)$$

B et S varient souvent proportionnellement à P pour les pressions envisagées.

Dans ce cas :

$$V_m = nf\ P + B_i + \frac{P_o T Z}{T_o}\left[\frac{R}{P} - n_S - \frac{S_i}{P}\right] + V_w \qquad (3.2.1.d)$$

nf : pente de B (P) ;

B_i : valeur de B pour P envisagé ;

n_S : pente de S (P) ;

S_i : valeur de S pour P envisagé.

3) ρ_L étant calculé pour diverses valeurs de P ou de variation de P, déterminer à l'aide de la figure IV. 30 le gradient de pression correspondant à P ou à la variation de P.

Ces gradients permettent de trouver la pression cherchée.

3.2.2. EXEMPLE :

Un puits débite 10 m^3/j. La pression de fond statique est de 310 bars absolus. La zone productive est à 3340 m. Calculer la pression de fond en débit.

Données

Pression tubing en débit	:	87 bars absolus ;
Diamètre intérieur du tubing	:	2,441" (62 mm) ;
Rapport gaz/liquide	:	R = 400 m^3/m^3 ;
Facteur volumétrique	:	B (voir fig. IV.31).

Solubilité	:	S (voir fig. IV.32) ;
Densité de l'huile de stockage à 15,6°C	:	°A.P.I. = 44,4° G_o = 0,8044 ;
Densité du gaz du séparateur	:	G_g = 0,796 ;
Température du réservoir	:	87°C ;
Température tubing	:	24°C .

Solutions

1) Calculer Q.M :

$M = 10^3 \times 0,8044 + 400 \times 0,796 \times 1,223 = 1193,8$ kg/m³ d'huile de stockage

$QM = 10 \times 1193,8 = 11938$ kg/j

2) Calculer V_m à l'aide de l'équation (3.2.1.c) et des figures IV.31 et IV.32.

Prendre des accroissements de pression de 40 bars.

Calcul de V_m

P	$P_r = \frac{P}{P_c}$	Z	B	$1,13 \frac{Z}{P}$	S	R - S	$1,13 \frac{Z}{P}(R-S)$	V_m
87	1,90	0,780	1,415	0,01013	107	293	2,97	4,38
130	2,84	0,720	1,52	0,00626	155	245	1,535	3,05
170	3,72	0,715	1,65	0,00476	196	204	0,970	2,59
210	4,59	0,740	1,80	0,00398	250	150	0,598	2,39
250	5,47	0,795	2,02	0,00359	322	78	0,280	2,28
290	6,34	0,860	2,34	0,00335	428	-	-	-

3) Calculer la masse volumique à la pression envisagée en utilisant la formule.

Avec la figure IV.30 déterminer le gradient de pression correspondant à la pression P. En utilisant le gradient moyen correspondant à l'augmentation de pression, calculer l'augmentation de profondeur correspondant à celle-ci.

Le tracé de P en fonction de la profondeur donne une pression de 267 bars à 3340 m.

Calcul du gradient de pression :

P	V_m	$\rho_F = \frac{M}{V_m}$	$\frac{dP}{dL}$	$\frac{dP}{dL}$ moyen	$\frac{\Delta P}{dP/dL}$	Profondeur (m)
87	4,38	272	0,041	0,045	955	955
130	3,05	391,5	0,049	0,052	769	1724
170	2,59	461	0,055	0,0565	708	2432
210	2,39	500	0,058	0,061	656	3088
250	2,28	547	0,064			
290	-	-	-			

Ecoulement dans les duses

Les graphiques II.33 - II.34 - II.35 (H. Poettmann et L. Beck) permettent d'estimer ou le GOR, ou le débit, ou la pression tubing, ou le diamètre de la duse quand trois des variables sont connues.

Il faut :

- que l'écoulement soit biphasique (huile/gaz);
- que l'écoulement s'effectue dans les conditions critiques : pression aval duse $<$ 0,55 pression amont duse.

$$\text{Précision statistique : } \frac{\text{valeur calculée - valeur mesurée}}{\text{valeur mesurée}} = 6{,}5\ \%$$

. Fig. IV.1. — COEFFICIENT DE FROTTEMENT (D'après Moody)

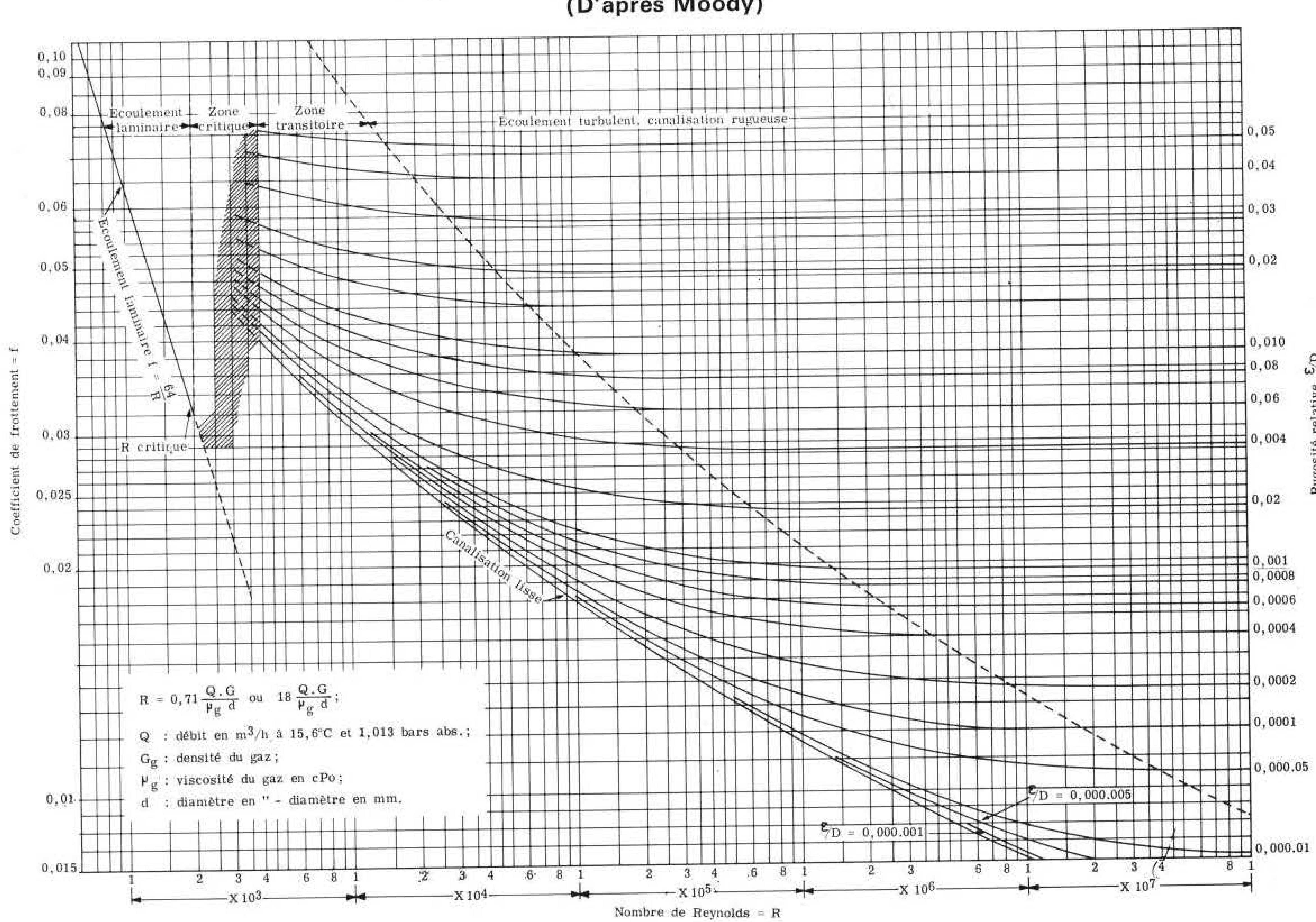


Fig. IV.2. — COEFFICIENT DE FROTTEMENT (ÉCOULEMENT TURBULENT)

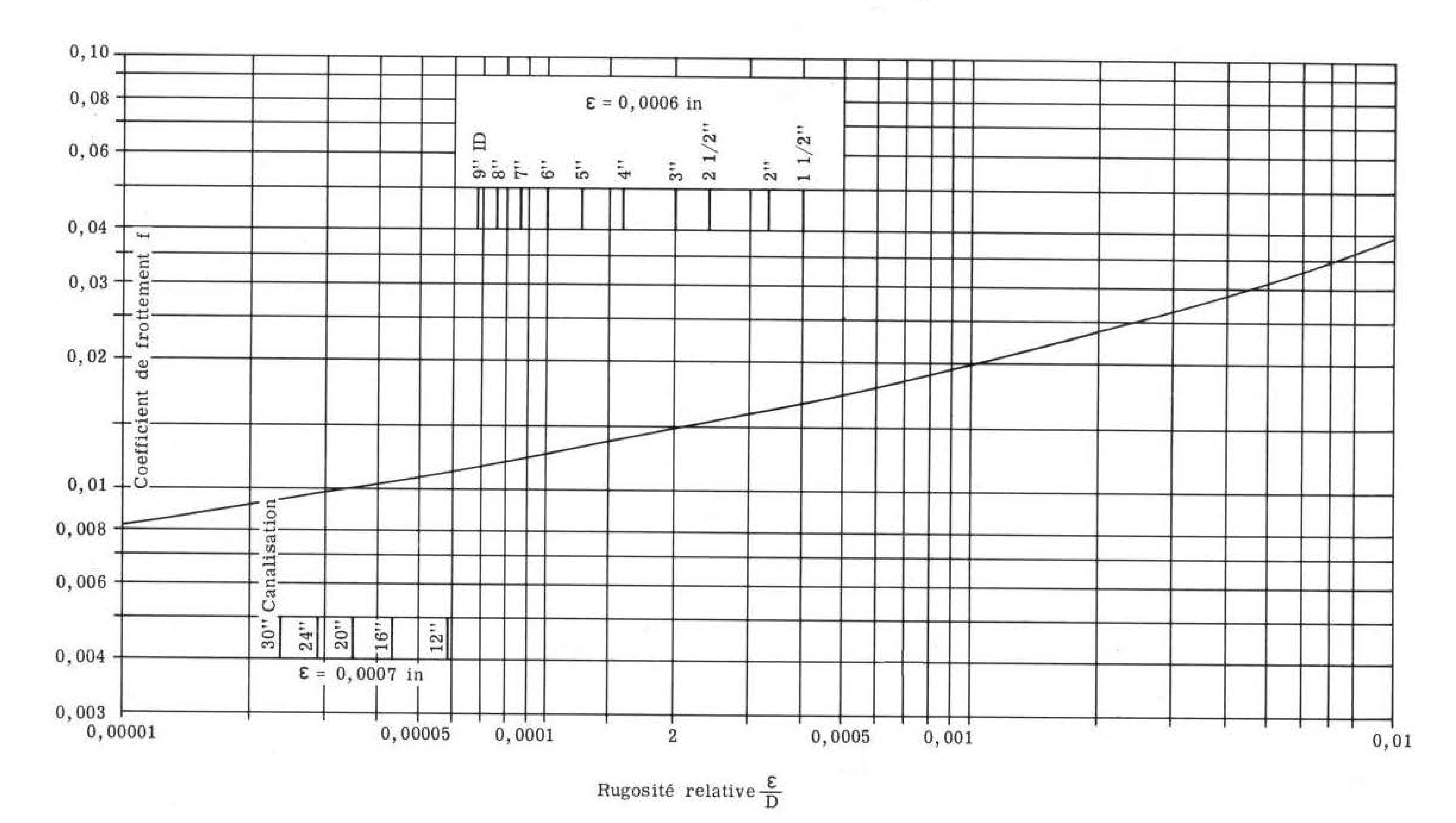
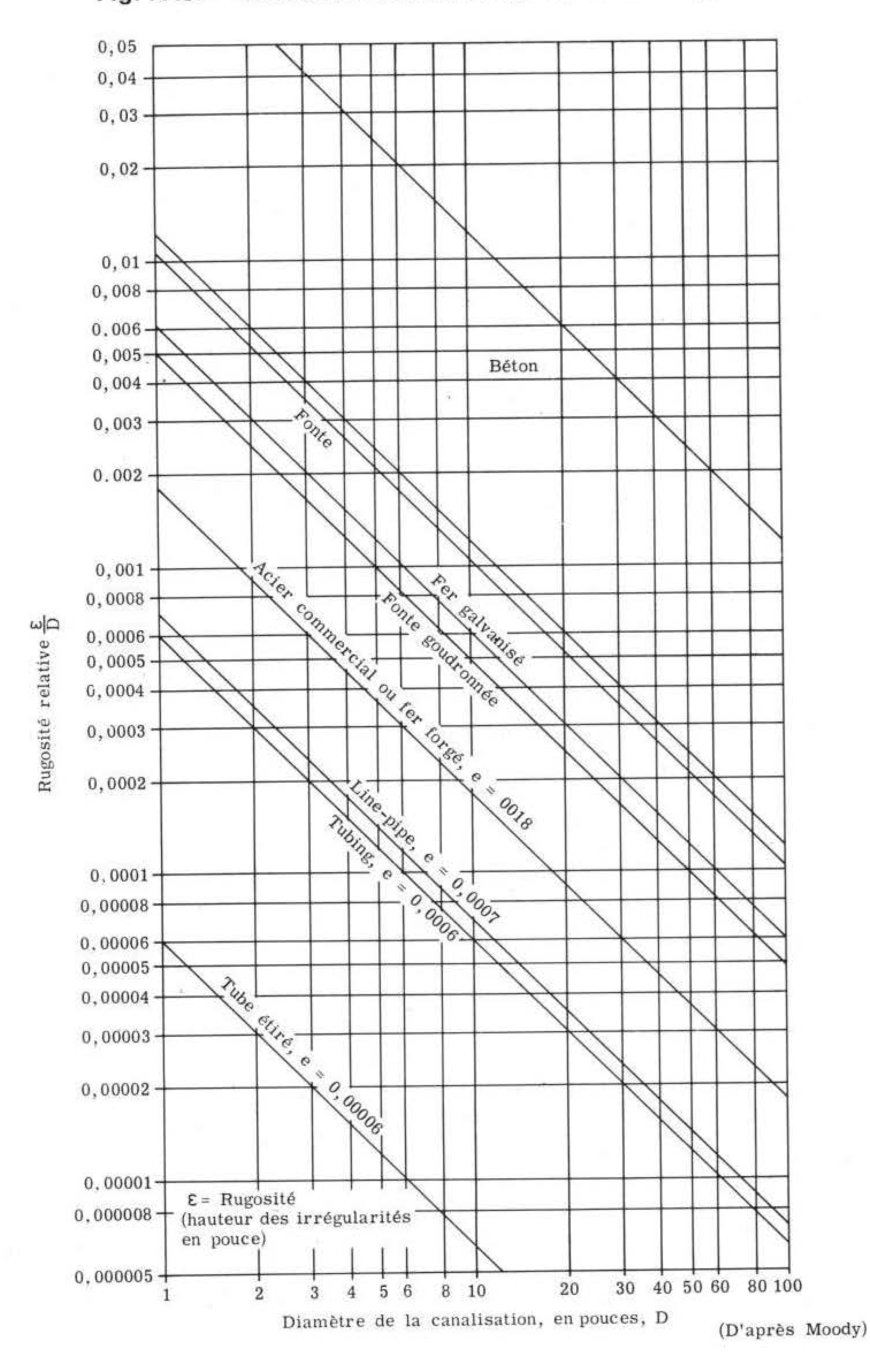


Fig. IV.3. — RUGOSITÉ RELATIVE (D'après Moody)



(D'après Moody)

TABLEAU I . RÉGIME LAMINAIRE

Table donnant le coefficient de corrections à appliquer à la perte de charge en fonction du rapport du diamètre de la conduite au diamètre indiqué sur les abaques en millimètres pour lequel l'abaque est établi.

D/Do	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00	1,000	1,004	1,008	1,012	1,016	1,020	1,025	1,029	1,033	1,037
1,01	1,041	1,045	1,049	1,053	1,057	1,062	1,066	1,070	1,074	1,078
1,02	1,082	1,086	1,091	1,095	1,100	1,104	1,108	1,113	1,117	1,122
1,03	1,126	1,130	1,135	1,139	1,144	1,148	1,152	1,157	1,161	1,166
1,04	1,170	1,175	1,179	1,184	1,188	1,193	1,198	1,202	1,207	1,211
1,05	1,216	1,221	1,225	1,230	1,235	1,240	1,244	1,249	1,254	1,258
1,06	1,263	1,269	1,273	1,277	1,282	1,287	1,292	1,297	1,301	1,306
1,07	1,311	1,316	1,321	1,326	1,331	1,336	1,340	1,345	1,350	1,355
1,08	1,360	1,365	1,370	1,376	1,381	1,386	1,391	1,396	1,402	1,407
1,09	1,412	1,417	1,422	1,428	1,433	1,438	1,443	1,448	1,454	1,459
1,10	1,464	1,469	1,475	1,480	1,486	1,491	1,496	1,502	1,507	1,513
1,11	1,518	1,524	1,529	1,535	1,540	1,546	1,552	1,557	1,563	1,568
1,12	1,574	1,580	1,585	1,591	1,597	1,602	1,608	1,614	1,619	1,625
1,13	1,630	1,636	1,642	1,648	1,654	1,660	1,666	1,671	1,677	1,683
1,14	1,689	1,695	1,701	1,707	1,713	1,719	1,725	1,731	1,737	1,743
1,15	1,749	1,755	1,762	1,768	1,774	1,780	1,786	1,793	1,799	1,805
1,16	1,812	1,818	1,824	1,880	1,837	1,843	1,849	1,855	1,862	1,868
1,17	1,874	1,880	1,887	1,894	1,900	1,907	1,913	1,919	1,926	1,933
1,18	1,939	1,946	1,952	1,959	1,965	1,972	1,979	1,985	1,992	1,998
1,19	2,005	2,012	2,019	2,026	2,033	2,039	2,046	2,053	2,060	2,067
1,20	2,074	2,080	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLEAU II . REGIME TURBULENT

Table donnant le coefficient de corrections à appliquer à la perte de charge en fonction du rapport du diamètre de la conduite au diamètre indiqué sur les abaques en millimètres pour lequel l'abaque est établi.

1,00	1,000	1,005	1,010	1,015	1,020	1,025	1,031	1,036	1,041	1,046
1,01	1,051	1,056	1,061	1,066	1,072	1,077	1,082	1,088	1,093	1,098
1,02	1,104	1,109	1,115	1,120	1,126	1,131	1,137	1,142	1,148	1,153
1,03	1,159	1,165	1,170	1,176	1,181	1,187	1,192	1,198	1,204	1,210
1,04	1,216	1,222	1,228	1,234	1,240	1,246	1,252	1,258	1,264	1,270
1,05	1,276	1,282	1,288	1,295	1,301	1,307	1,313	1,320	1,326	1,332
1,06	1,338	1,345	1,351	1,358	1,364	1,371	1,377	1,384	1,390	1,396
1,07	1,402	1,409	1,415	1,422	1,429	1,436	1,442	1,449	1,455	1,462
1,08	1,469	1,476	1,483	1,490	1,497	1,503	1,510	1,517	1,524	1,531
1,09	1,538	1,545	1,552	1,560	1,567	1,574	1,581	1,589	1,596	1,603
1,10	1,610	1,617	1,625	1,632	1,640	1,647	1,655	1,662	1,670	1,677
1,11	1,685	1,692	1,700	1,708	1,715	1,723	1,730	1,738	1,746	1,754
1,12	1,762	1,770	1,778	1,786	1,794	1,802	1,810	1,818	1,826	1,834
1,13	1,842	1,850	1,859	1,867	1,875	1,884	1,892	1,900	1,909	1,917
1,14	1,925	1,934	1,942	1,951	1,959	1,968	1,977	1,985	1,993	2,002
1,15	2,011	2,020	2,029	2,038	2,047	2,055	2,064	2,073	2,082	2,091
1,16	2,100	2,109	2,118	2,128	2,137	2,146	2,155	2,165	2,174	2,183
1,17	2,192	2,202	2,211	2,221	2,230	2,240	2,249	2,259	2,268	2,278
1,18	2,288	2,298	2,308	2,317	2,327	2,337	2,347	2,356	2,366	2,376
1,19	2,386	2,396	2,406	2,417	2,427	2,437	2,447	2,458	2,468	2,478
1,20	2,488	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. IV.4. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (3/4'' - 20,9 mm)

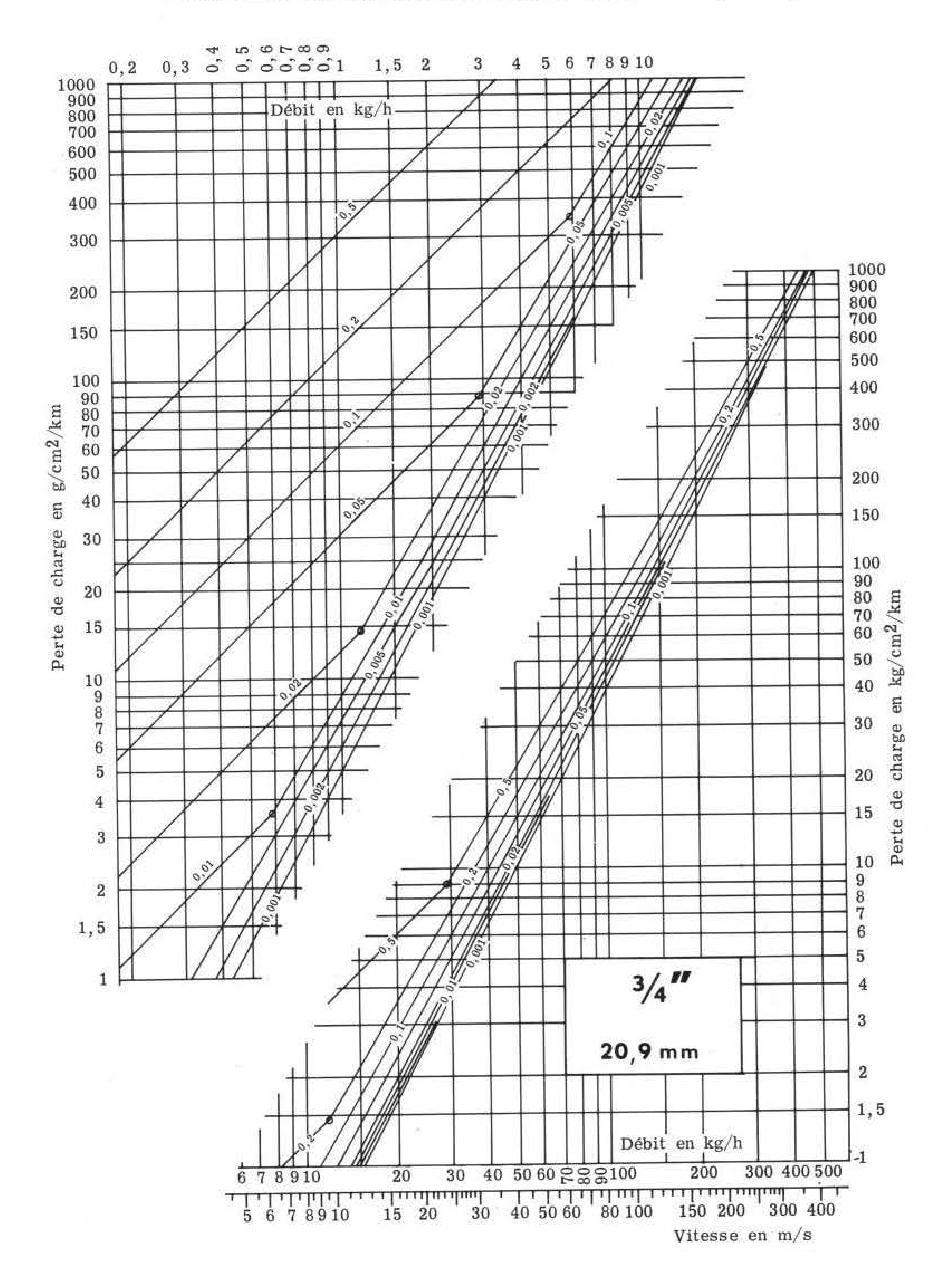


Fig. IV.5. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (1" - 26,6 mm)

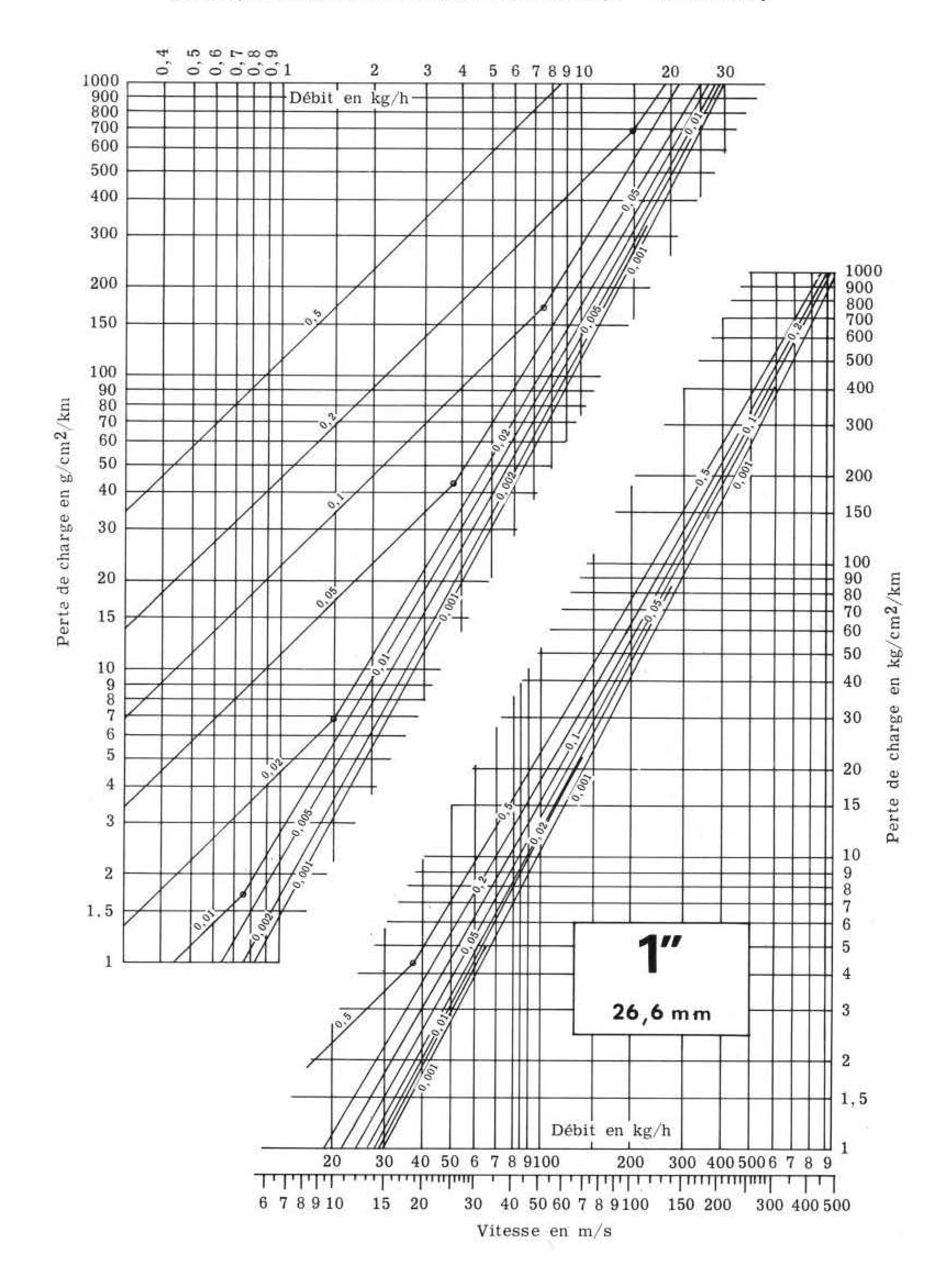


Fig. IV.6. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (1"1/4 - 35,1 mm)

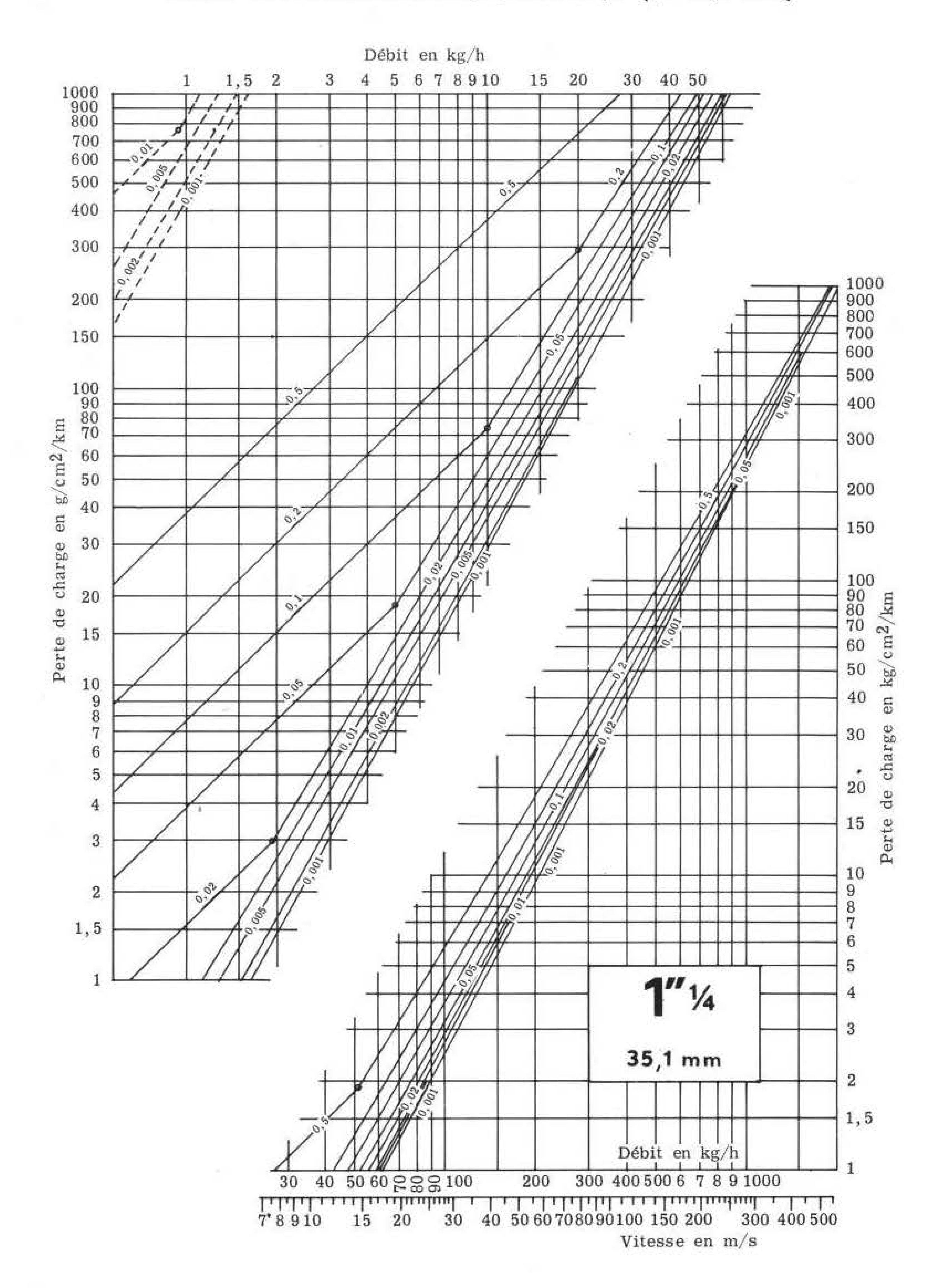


Fig. IV.7. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (1"1/2 - 41 mm)

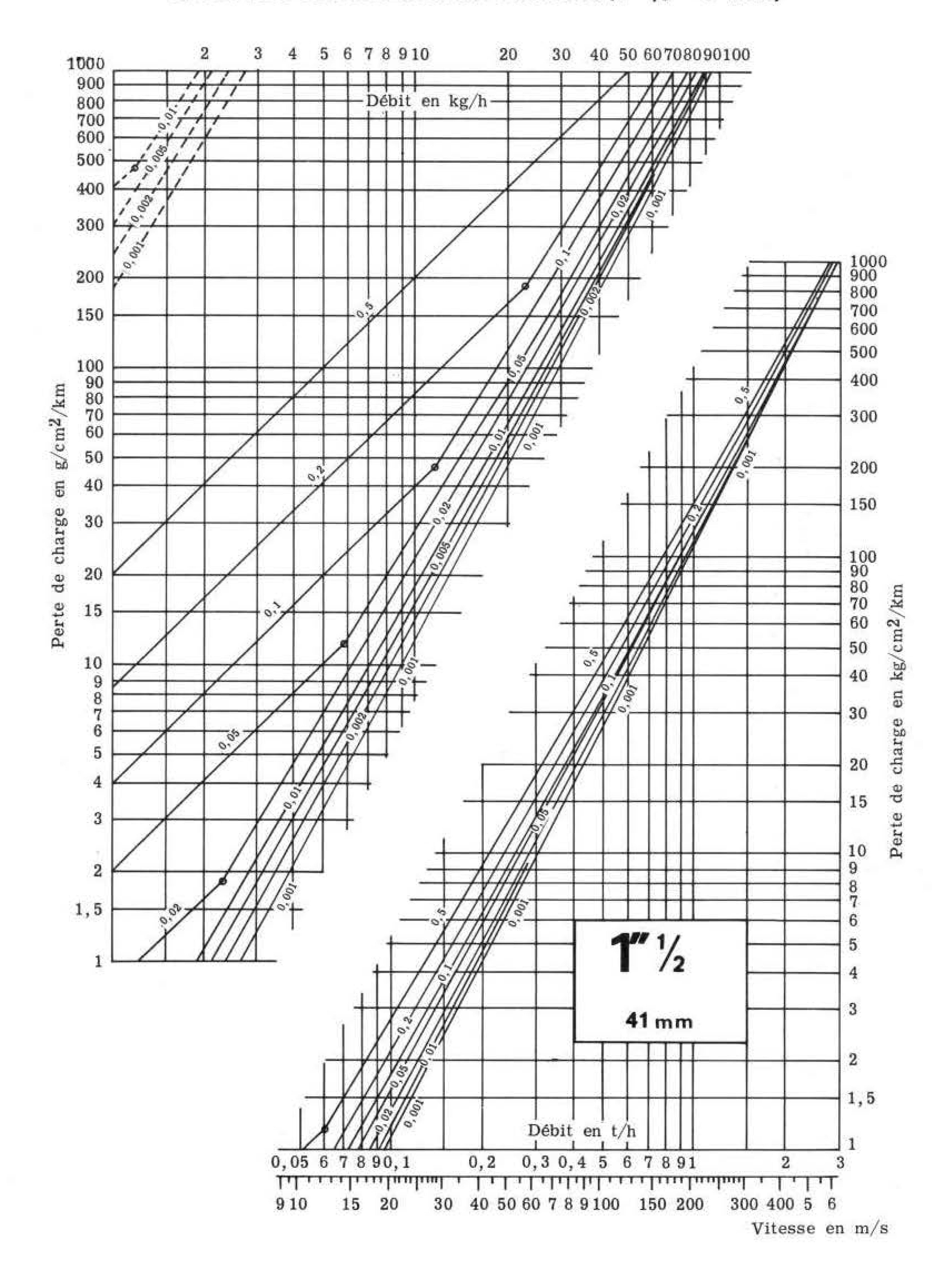


Fig. IV.8. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (2" - 52,5 mm)

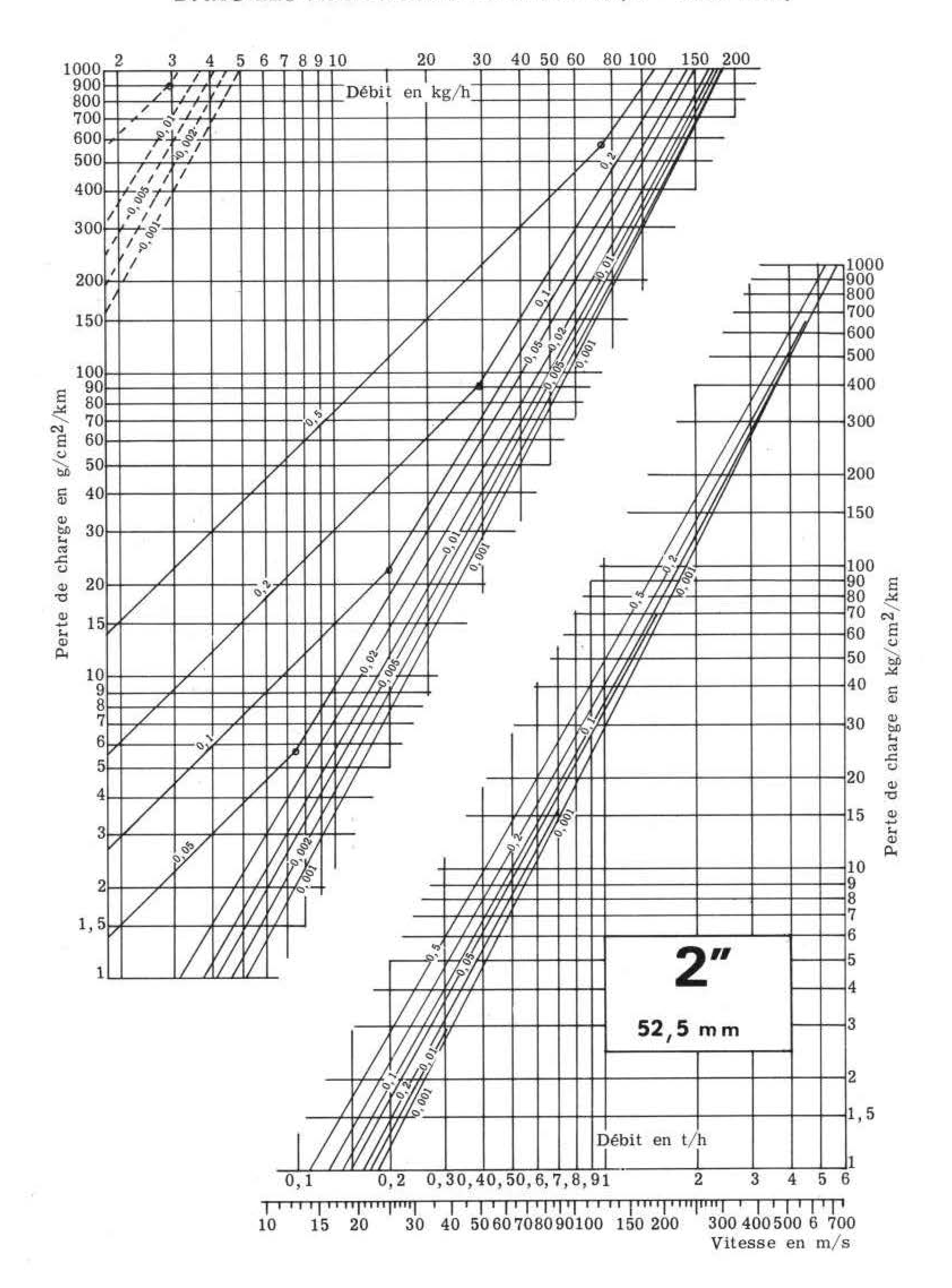


Fig. IV.9. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (3" - 77,9 mm)

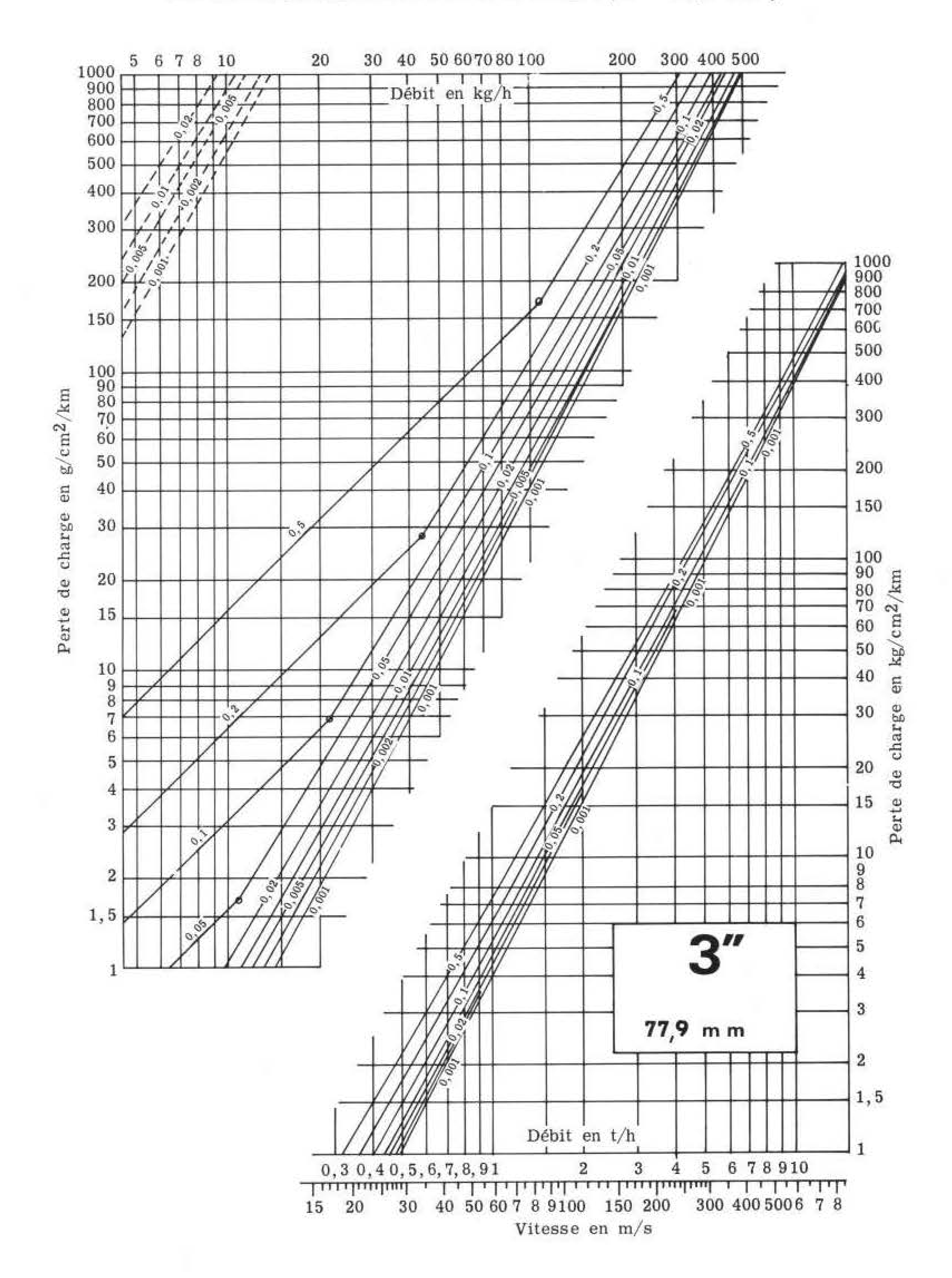


Fig. IV.10. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (4" - 102,3 mm)

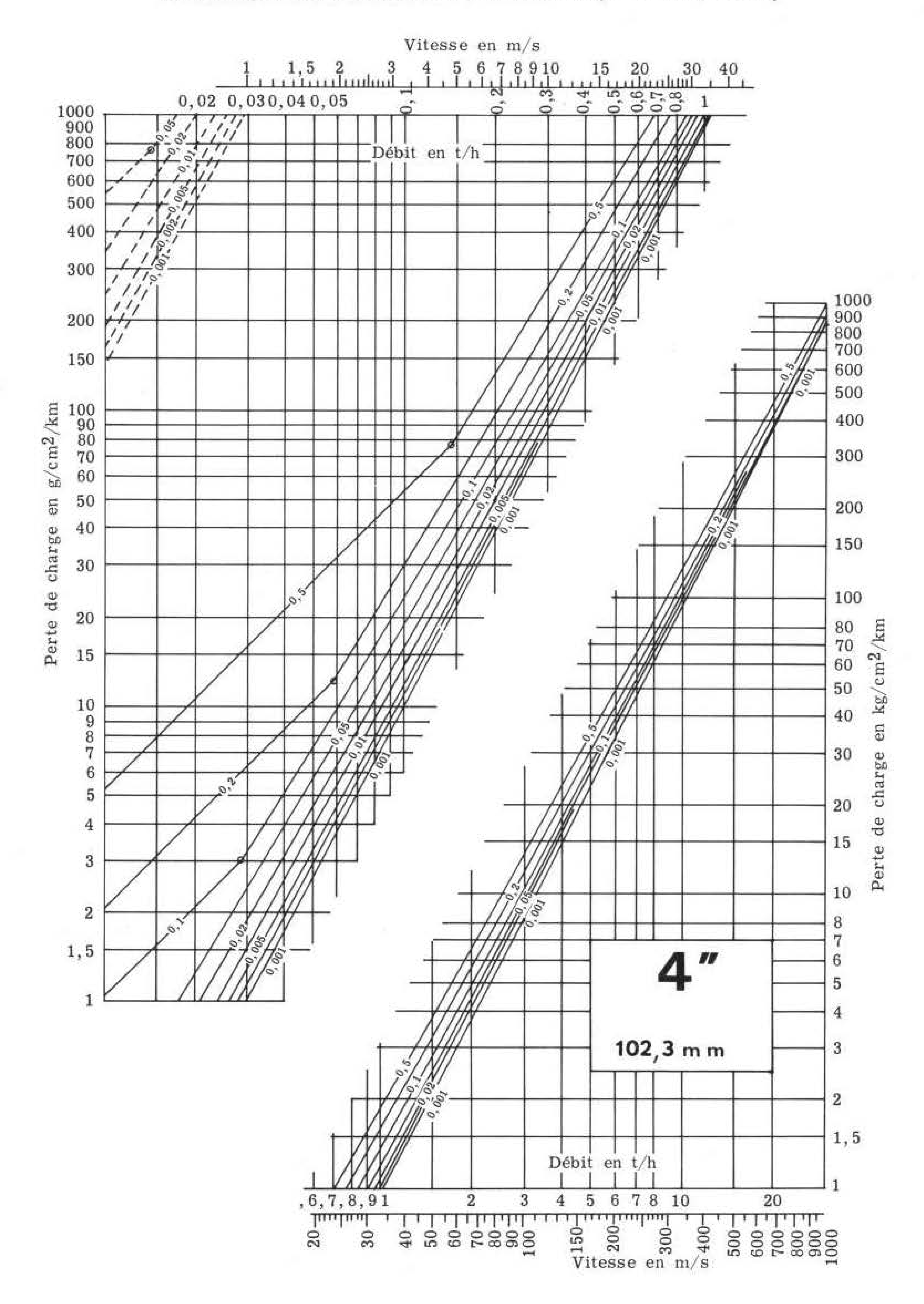


Fig. IV.11. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (6" - 154 mm)

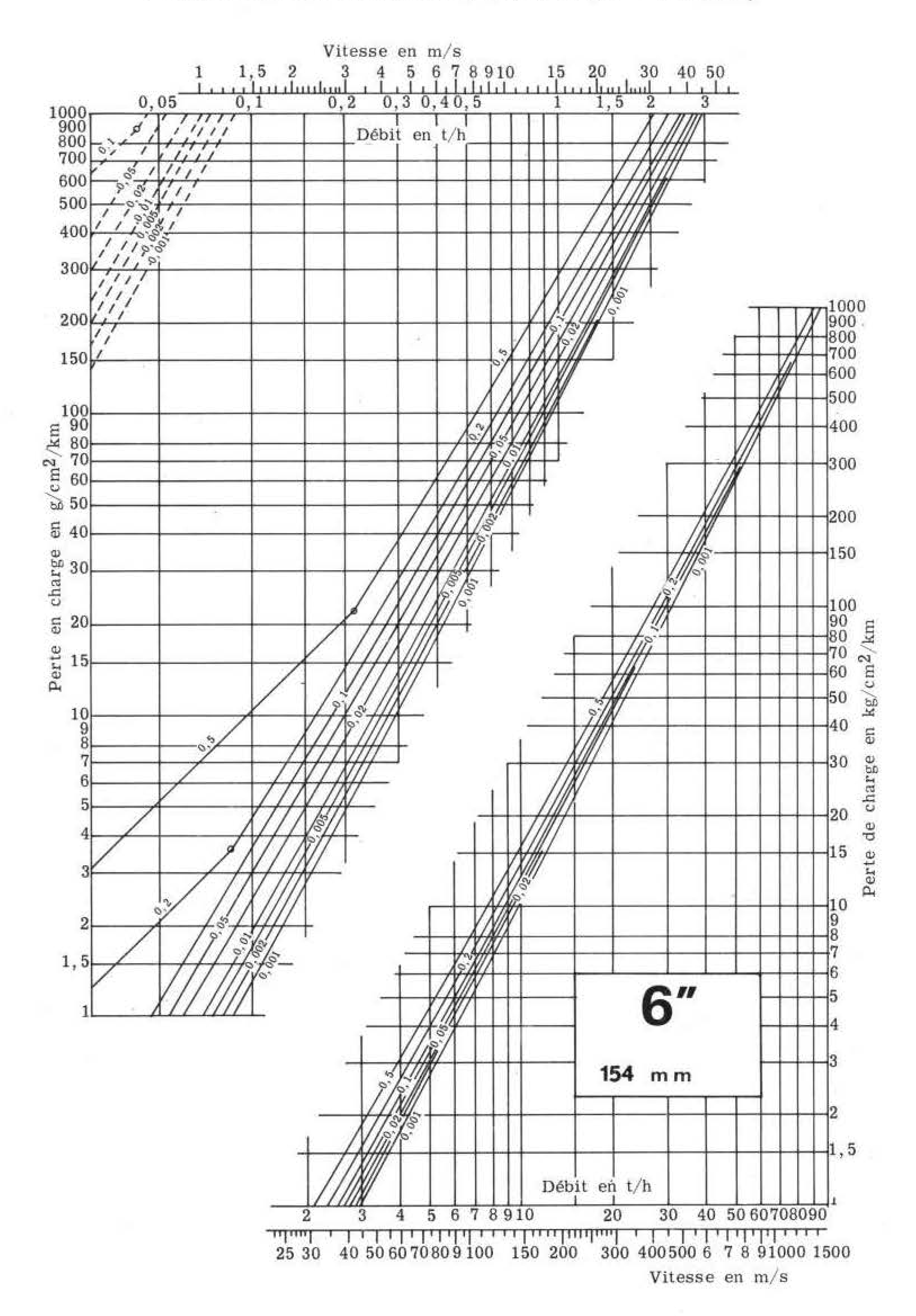


Fig. IV.12. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (8" - 202,7 mm)

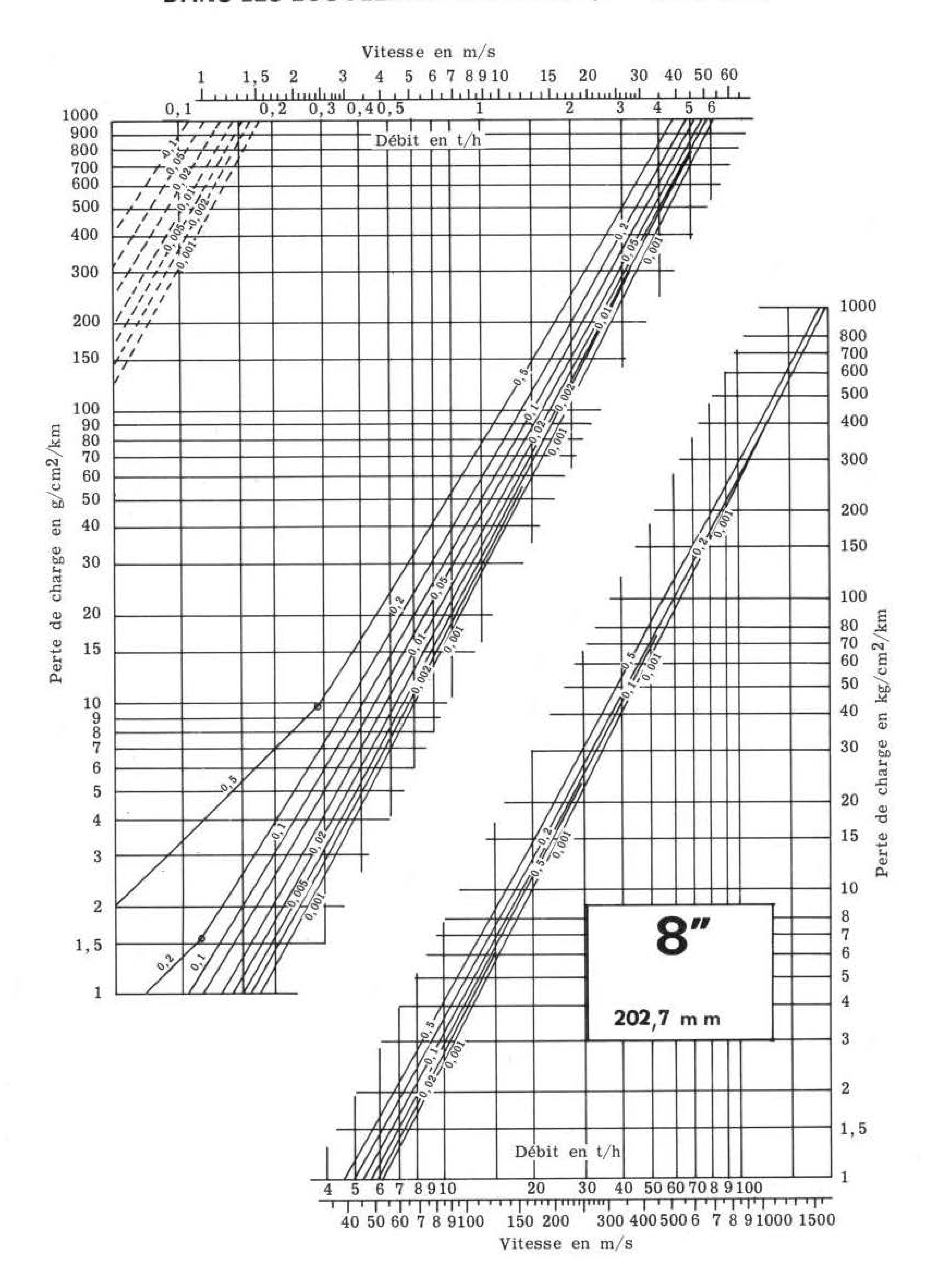


Fig. IV.13. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (10" - 254,5 mm)

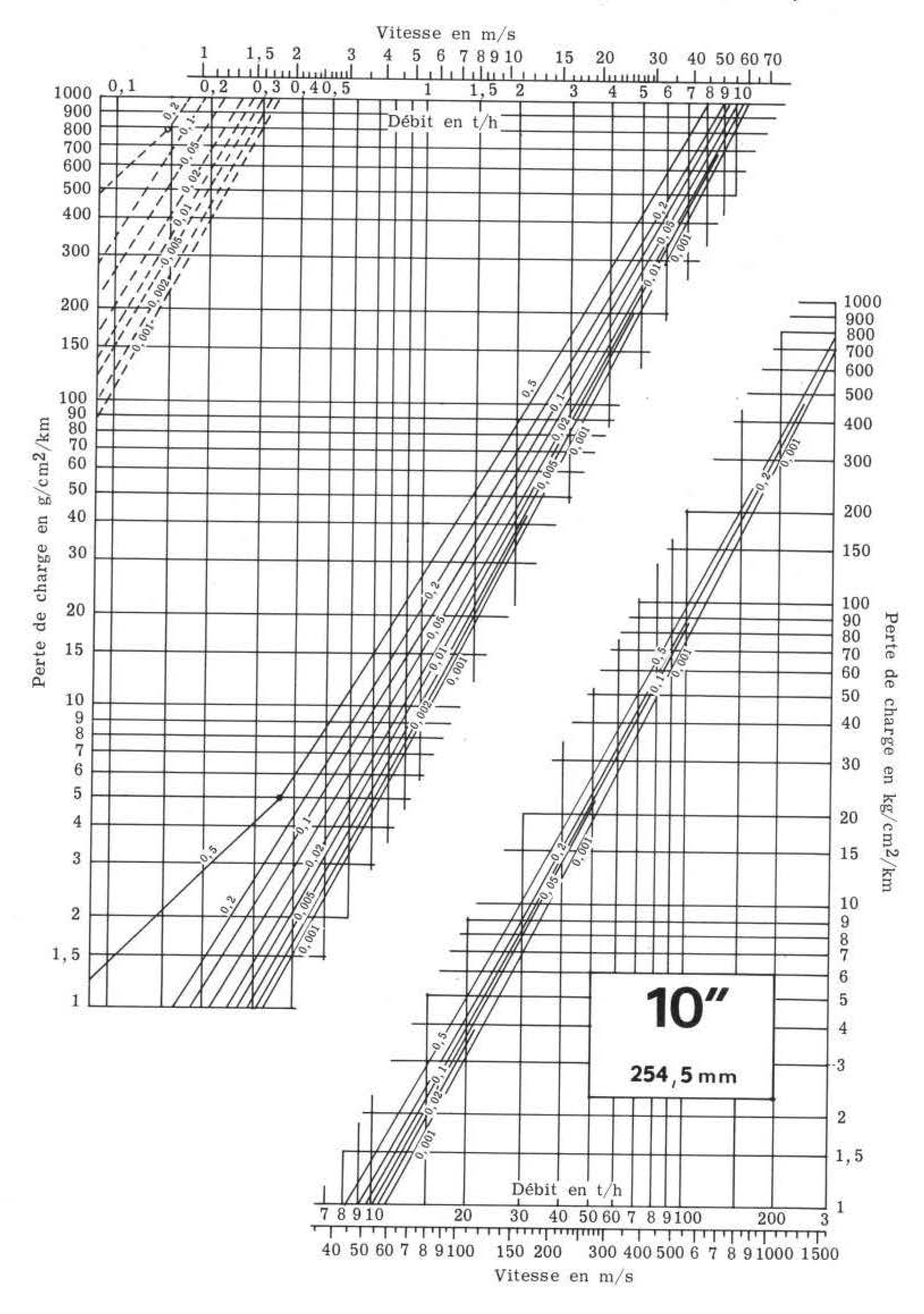


Fig. IV.14. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS GAZEUX (12" - 304,8 mm)

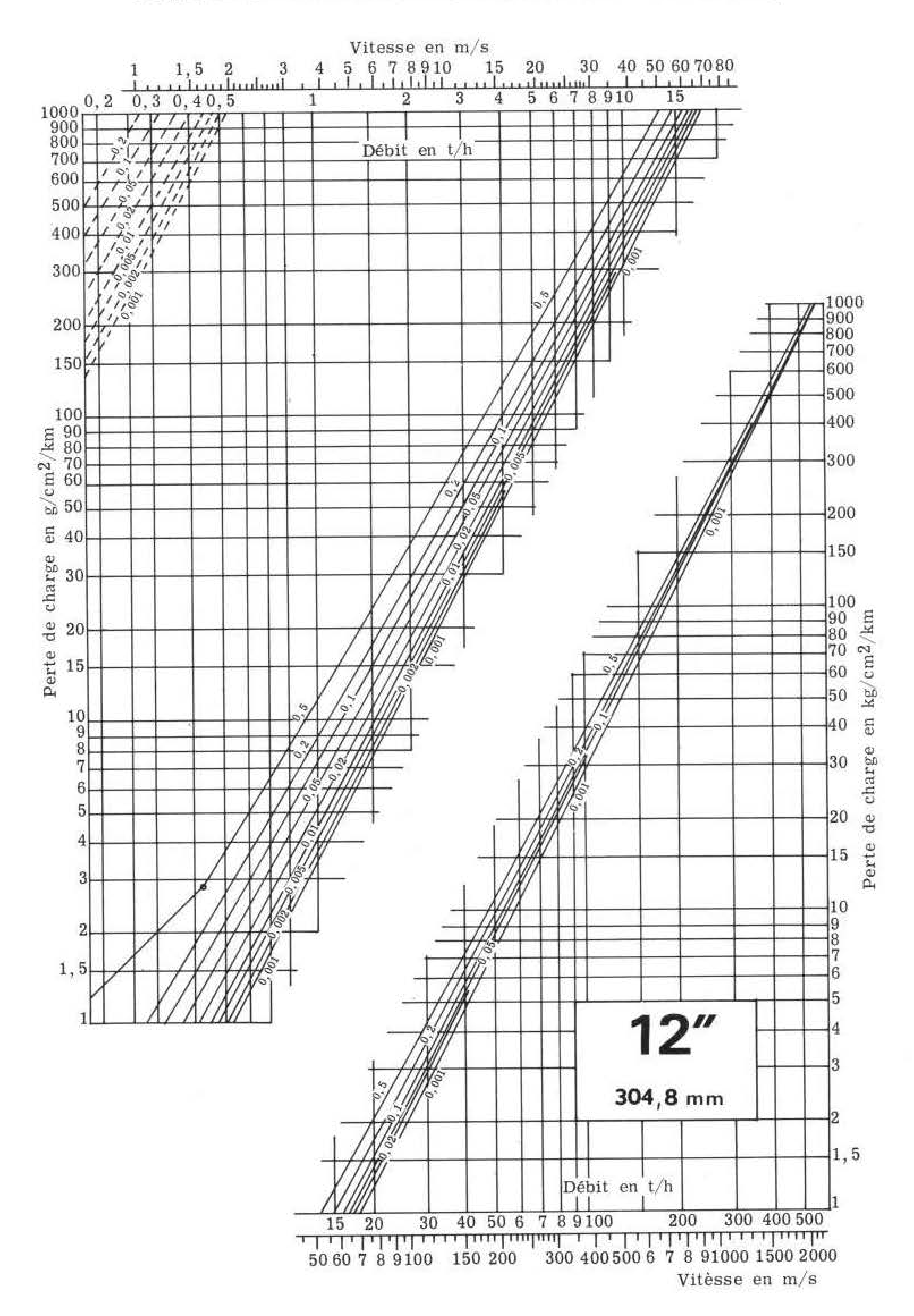


TABLEAU III . VALEURS DE $\int_{0,2}^{P_r} \frac{Z}{P_r} \, d\, P_r$

Pression pseudo réduite P_r	Température pseudo-réduite T_r																			
	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2.00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,3	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
0,4	0,615	0,619	0,623	0,626	0,628	0,630	0,632	0,633	0,634	0,635	0,636	0,637	0,638	0,639	0,639	0,640	0,640	0,640	0,640	0,640
0,5	0,805	0,816	0,826	0,834	0,839	0,844	0,848	0,851	0,854	0,856	0,860	0,862	0,864	0,866	0,867	0,868	0,869	0,869	0,869	0,869
0,6	0,955	0,971	0,985	0,998	1,011	1,022	1,032	1,040	1,045	1,048	1,049	1,049	1,050	1,050	1,050	1,051	1,051	1,052	1,052	1,052
0,7	1,078	1,100	1,124	1,145	1,162	1,178	1,190	1,199	1,203	1,207	1,210	1,211	1,213	1,214	1,216	1,218	1,219	1,220	1,220	1,220
0,8	1,175	1,207	1,239	1,264	1,285	1,300	1,313	1,322	1,332	1,340	1,347	1,352	1,357	1,359	1,360	1,363	1,364	1,364	1,364	1,364
0,9	1,256	1,300	1,335	1,365	1,386	1,403	1,417	1,429	1,440	1,450	1,462	1,472	1,480	1,485	1,489	1,492	1,494	1,495	1,495	1,495
1,0	1,327	1,375	1,420	1,455	1,479	1,500	1,515	1,530	1,541	1,551	1,568	1,580	1,590	1,598	1,602	1,607	1,608	1,609	1,610	1,610
1,1	1,380	1,438	1,485	1,528	1,552	1,573	1,591	1,606	1,616	1,631	1,653	1,667	1,676	1,684	1,691	1,699	1,702	1,706	1,709	1,711
1,2	1,433	1,500	1,550	1,600	1,625	1,645	1,666	1,682	1,690	1,710	1,737	1,753	1,761	1,770	1,780	1,790	1,795	1,802	1,808	1,812
1,3	1,463	1,545	1,602	1,657	1,684	1,709	1,731	1,746	1,758	1,779	1,810	1,828	1,836	1,845	1,858	1,868	1,875	1,883	1,890	1,896
1,4	1,492	1,590	1,654	1,713	1,742	1,772	1,795	1,810	1,825	1,847	1,882	1,903	1,911	1,920	1,935	1,945	1,954	1,964	1,972	1,980
1,5	1,510	1,620	1,690	1,757	1,791	1,824	1,848	1,867	1,884	1,906	1,938	1,962	1,973	1,984	1,997	2,010	2,019	2,027	2,036	2,045
1,6	1,527	1,649	1,726	1,800	1,839	1,875	1,900	1,923	1,943	1,964	1,993	2,021	2,035	2,047	2,059	2,074	2,083	2,090	2,100	2,110
1,7	1,544	1,670	1,754	1,834	1,876	1,917	1,943	1,969	1,991	2,012	2,043	2,072	2,089	2,102	2,116	2,131	2,141	2,148	2,159	2,169
1,8	1,560	1,690	1,782	1,867	1,913	1,958	1,985	2,014	2,038	2,060	2,093	2,123	2,142	2,157	2,172	2,188	2,198	2,205	2,217	2,227
1,9	1,575	1,708	1,808	1,896	1,944	1,993	2,022	2,054	2,079	2,100	2,136	2,165	2,187	2,204	2,219	2,237	2,247	2,256	2,267	2,279
2,0	1,590	1,725	1,833	1,924	1,975	2,027	2,059	2,093	2,119	2,140	2,178	2,207	2,231	2,250	2,265	2,285	2,295	2,307	2,317	2,330
2,1	1,604	1,743	1,854	1,947	2,003	2,057	2,092	2,126	2,153	2,176	2,215	2,248	2,272	2,292	2,307	2,326	2,337	2,350	2,361	2,375
2,2	1,617	1,761	1,876	1,971	2,031	2,086	2,125	2,160	2,187	2,212	2,252	2,288	2,313	2,334	2,349	2,366	2,380	2,394	2,404	2,420
2,3	1,631	1,779	1,897	1,994	2,059	2,116	2,157	2,193	2,222	2,249	2,288	2,329	2,354	2,375	2,391	2,407	2,422	2,437	2,448	2,465
2,4	1,644	1,797	1,919	2,018	2,087	2,145	2,190	2,227	2,256	2,285	2,325	2,369	2,395	2,417	2,433	2,447	2,465	2,481	2,491	2,510
2,5	1,668	1,815	1,940	2,041	2,115	2,175	2,223	2,260	2,290	2,321	2,362	2,410	2,436	2,459	2,475	2,488	2,507	2,524	2,535	2,555
2,6	1,672	1,830	1,958	2,061	2,137	2,198	2,249	2,288	2,318	2,350	2,392	2,442	2,469	2,492	2,508	2,523	2,544	2,562	2,574	2,593
2,7	1,685	1,845	1,976	2,081	2,159	2,221	2,275	2,316	2,347	2,379	2,423	2,474	2,502	2,525	2,541	2,559	2,581	2,599	2,612	2,630
2,8	1,699	1,860	1,994	2,101	2,180	2,245	2,302	2,344	2,375	2,407	2,453	2,506	2,534	2,557	2,575	2,594	2,617	2,637	2,651	2,668
2,9	1,712	1,875	2,012	2,121	2,202	2,268	2,328	2,372	2,404	2,436	2,484	2,538	2,567	2,590	2,608	2,630	2,654	2,674	2,689	2,705
3,0	1,726	1,890	2,030	2,140	2,224	2,291	2,354	2,400	2,432	2,465	2,514	2,570	2,600	2,623	2,641	2,665	2,691	2,712	2,728	2,743
3,1	1,740	1,904	2,046	2,157	2,243	2,311	2,376	2,423	2,455	2,489	2,540	2,597	2,628	2,652	2,670	2,694	2,722	2,744	2,759	2,775
3,2	1,754	1,918	2,062	2,175	2,261	2,331	2,397	2,446	2,478	2,512	2,565	2,623	2,657	2,681	2,700	2,723	2,753	2,775	2,790	2,806
3,3	1,767	1,932	2,078	2,192	2,280	2,350	2,419	2,469	2,502	2,536	2,591	2,650	2,685	2,709	2,729	2,752	2,783	2,807	2,821	2,838
3,4	1,781	1,946	2,094	2,210	2,298	2,370	2,440	2,492	2,525	2,559	2,616	2,676	2,714	2,738	2,759	2,781	2,814	2,838	2,852	2,869
3,5	1,795	1,960	2,110	2,227	2,317	2,390	2,462	2,515	2,548	2,583	2,642	2,703	2,742	2,767	2,788	2,810	2,845	2,870	2,883	2,901
3,6	1,808	1,974	2,125	2,243	2,333	2,407	2,480	2,535	2,568	2,603	2,664	2,726	2,766	2,792	2,813	2,836	2,872	2,910	2,911	2,929
3,7	1,822	1,988	2,140	2,259	2,349	2,424	2,498	2,556	2,588	2,624	2,686	2,748	2,791	2,817	2,839	2,862	2,899	2,950	2,938	2,957
3,8	1,835	2,002	2,155	2,275	2,365	2,440	2,517	2,576	2,609	2,644	2,708	2,771	2,815	2,843	2,864	2,888	2,925	2,990	2,966	2,984
3,9	1,849	2,016	2,170	2,291	2,381	2,457	2,535	2,597	2,629	2,665	2,730	2,793	2,840	2,868	2,890	2,914	2,952	3,030	2,993	3,012
4,0	1,862	2,030	2,186	2,306	2,397	2,474	2,553	2,617	2,649	2,685	2,752	2,816	2,864	2,893	2,915	2,940	2,979	3,070	3,021	3,040

TABLEAU IV . VALEURS DE $\int_{0,2}^{P_r} \frac{Z}{P_r} \, d\,P_r$

Pression pseudo réduite P_r	Température pseudo-réduite T_r																			
	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
4,1	1,875	2,044	2,201	2,321	2,413	2,490	2,569	2,634	2,667	2,703	2,771	2,836	2,885	2,915	2,938	2,963	3,002	3,081	3,045	3,064
4,2	1,889	2,058	2,216	2,336	2,429	2,506	2,586	2,651	2,685	2,721	2,789	2,856	2,907	2,937	2,960	2,985	3,025	3,092	3,069	3,088
4,3	1,902	2,073	2,230	2,351	2,444	2,523	2,602	2,669	2,702	2,740	2,808	2,875	2,928	2,958	2,983	3,008	3,049	3,103	3,094	3,112
4,4	1,916	2,087	2,245	2,366	2,460	2,539	2,619	2,686	2,720	2,758	2,826	2,895	2,950	2,980	3,005	3,030	3,072	3,114	3,118	3,136
4,5	1,929	2,101	2,260	2,381	2,476	2,555	2,635	2,703	2,738	2,776	2,845	2,915	2,971	3,002	3,028	3,053	3,095	3,125	3,142	3,160
4,6	1,942	2,115	2,274	2,395	2,491	2,570	2,651	2,719	2,754	2,793	2,863	2,933	2,990	3,022	3,048	3,074	3,117	3,147	3,164	3,182
4,7	1,955	2,128	2,288	2,409	2,507	2,586	2,666	2,735	2,770	2,810	2,881	2,952	3,009	3,041	3,068	3,095	3,139	3,168	3,186	3,203
4,8	1,969	2,142	2,301	2,423	2,522	2,601	2,682	2,752	2,786	2,826	2,899	2,970	3,027	3,061	3,088	3,115	3,161	3,190	3,209	3,225
4,9	1,982	2,155	2,315	2,437	2,538	2,617	2,697	2,768	2,802	2,843	2,917	2,989	3,046	3,080	3,108	3,136	3,183	3,211	3,231	3,246
5,0	1,995	2,169	2,329	2,451	2,553	2,632	2,713	2,784	2,818	2,860	2,935	3,007	3,065	3,100	3,128	3,157	3,205	3,233	3,253	3,268
5,1	2,009	2,183	2,342	2,465	2,567	2,646	2,728	2,799	2,834	2,876	2,952	3,024	3,082	3,118	3,146	3,177	3,225	3,253	3,274	3,288
5,2	2,624	2,197	2,355	2,479	2,581	2,661	2,743	2,814	2,850	2,892	2,968	3,042	3,099	3,136	3,164	3,196	3,244	3,273	3,295	3,308
5,3	2,038	2,210	2,369	2,492	2,595	2,675	2,758	2,830	2,865	2,908	2,985	3,059	3,117	3,153	3,182	3,216	3,264	3,294	3,315	3,328
5,4	2,053	2,224	2,382	2,506	2,609	2,690	2,773	2,845	2,881	2,924	3,001	3,077	3,134	3,171	3,200	3,235	3,283	3,314	3,336	3,348
5,5	2,067	2,238	2,395	2,520	2,623	2,704	2,788	2,860	2,897	2,940	3,018	3,094	3,151	3,189	3,218	3,255	3,303	3,334	3,357	3,368
5,6	2,079	2,251	2,408	2,533	2,636	2,718	2,801	2,874	2,912	2,955	3,037	3,110	3,168	3,206	3,235	3,273	3,321	3,352	3,375	3,386
5,7	2,091	2,264	2,421	2,547	2,650	2,731	2,815	2,888	2,926	2,970	3,049	3,125	3,185	3,224	3,252	3,291	3,339	3,370	3,393	3,405
5,8	2,102	2,277	2,435	2,560	2,663	2,745	2,828	2,902	2,941	2,985	3,065	3,141	3,201	3,241	3,270	3,309	3,356	3,389	3,412	3,423
5,9	2,114	2,290	2,448	2,574	2,677	2,758	2,842	2,916	2,955	3,000	3,080	3,156	3,218	3,259	3,287	3,327	3,374	3,407	3,430	3,442
6,0	2,126	2,303	2,461	2,587	2,690	2,772	2,855	2,930	2,970	3,015	3,096	3,172	3,235	3,276	3,304	3,345	3,392	3,425	3,448	3,460
6,1	2,139	2,316	2,474	2,600	2,703	2,785	2,869	2,943	2,984	3,029	3,111	3,187	3,250	3,292	3,321	3,362	3,409	3,442	3,466	3,477
6,2	2,152	2,328	2,486	2,612	2,716	2,799	2,882	2,956	2,997	3,043	3,125	3,202	3,266	3,308	3,337	3,379	3,426	3,459	3,483	3,494
6,3	2,165	2,341	2,499	2,625	2,729	2,812	2,896	2,970	3,011	3,056	3,140	3,218	3,281	3,323	3,354	3,395	3,443	3,476	3,501	3,511
6,4	2,178	2,353	2,511	2,637	2,742	2,826	2,909	2,983	3,024	3,070	3,154	3,233	3,297	3,339	3,370	3,412	3,460	3,493	3,518	3,528
6,5	2,191	2,366	2,524	2,650	2,755	2,839	2,923	2,996	3,038	3,084	3,169	3,248	3,312	3,355	3,387	3,429	3,477	3,510	3,536	3,545
6,6	2,204	2,379	2,536	2,662	2,768	2,852	2,936	3,009	3,051	3,098	3,183	3,262	3,327	3,370	3,402	3,444	3,493	3,526	3,551	3,561
6,7	2,217	2,391	2,548	2,675	2,781	2,864	2,949	3,022	3,064	3,112	3,197	3,276	3,341	3,385	3,417	3,459	3,508	3,542	3,567	3,577
6,8	2,229	2,404	2,560	2,687	2,794	2,877	2,963	3,034	3,077	3,126	3,210	3,291	3,356	3,399	3,432	3,475	3,524	3,557	3,582	3,592
6,9	2,242	2,416	2,572	2,700	2,807	2,889	2,976	3,047	3,090	3,140	3,224	3,305	3,370	3,414	3,447	3,490	3,539	3,573	3,598	3,608
7,0	2,255	2,429	2,584	2,712	2,820	2,902	2,989	3,060	3,103	3,154	3,238	3,319	3,385	3,429	3,462	3,505	3,555	3,589	3,613	3,624
7,1	2,268	2,442	2,597	2,724	2,832	2,915	3,002	3,073	3,116	3,167	3,251	3,332	3,399	3,443	3,477	3,520	3,570	3,604	3,628	3,639
7,2	2,281	2,454	2,609	2,737	2,844	2,928	3,014	3,085	3,129	3,180	3,264	3,345	3,413	3,457	3,491	3,534	3,584	3,618	3,643	3,654
7,3	2,294	2,467	2,622	2,749	2,856	2,941	3,027	3,098	3,141	3,194	3,278	3,359	3,427	3,472	3,506	3,549	3,599	3,633	3,659	3,670
7,4	2,307	2,479	2,634	2,762	2,868	2,954	3,039	3,110	3,154	3,207	3,291	3,372	3,441	3,486	3,520	3,563	3,613	3,647	3,674	3,685
7,5	2,320	2,492	2,647	2,774	2,880	2,967	3,052	3,123	3,167	3,220	3,304	3,385	3,455	3,500	3,535	3,578	3,628	3,662	3,689	3,700
7,6	2,333	2,505	2,660	2,786	2,892	2,979	3,065	3,135	3,180	3,233	3,317	3,398	3,468	3,514	3,548	3,591	3,442	3,676	3,703	3,714
7,7	2,346	2,517	2,672	2,799	2,904	2,991	3,077	3,147	3,192	3,246	3,330	3,411	3,482	3,528	3,562	3,605	3,656	3,690	3,718	3,728
7,8	2,359	2,530	2,685	2,811	2,916	3,003	3,090	3,160	3,205	3,260	3,344	3,424	3,495	3,541	3,575	3,618	3,670	3,704	3,732	3,742
7,9	2,372	2,542	2,697	2,824	2,928	3,015	3,102	2,172	3,217	3,274	3,357	3,437	3,509	3,555	3,589	3,632	3,684	3,718	3,747	3,756
8,0	2,385	2,555	2,710	2,836	2,940	3,027	3,115	3,184	3,230	3,287	3,370	3,450	3,522	3,569	3,602	3,645	3,698	3,732	3,761	3,770

TABLEAU V . VALEURS DE $\int_{0,2}^{P_r} \frac{Z}{P_r} \, d \, P_r$

Pression pseudo réduite P_r	Température pseudo-réduite T_r																			
	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
8,1	2,398	2,568	2,723	2,848	2,952	3,039	3,127	2,197	3,242	3,299	3,382	3,462	3,534	3,581	3,615	3,658	3,711	3,745	3,774	3,783
8,2	2,411	2,580	2,736	2,861	2,964	3,051	3,139	3,209	3,254	3,311	3,394	3,474	3,546	3,594	3,627	3,671	3,723	3,758	3,788	3,796
8,3	2,424	2,593	2,748	2,873	2,977	3,064	3,151	3,222	3,266	3,323	3,407	3,486	3,559	3,606	3,640	3,684	3,736	3,771	3,801	3,810
8,4	2,437	2,605	2,761	2,886	2,989	3,076	3,163	3,234	3,278	3,335	3,419	3,498	3,571	3,619	3,652	3,697	3,748	3,784	3,815	3,823
8,5	2,450	2,618	2,774	2,898	3,001	3,088	3,175	3,247	3,290	3,347	3,431	3,510	3,583	3,631	3,665	3,710	3,761	3,797	3,828	3,836
8,6	2,462	2,631	2,787	2,910	3,013	3,100	3,187	3,259	3,302	3,359	3,443	3,523	3,595	3,643	3,677	3,722	3,773	3,810	3,840	3,849
8,7	2,475	2,643	2,799	2,923	3,025	3,112	3,199	3,270	3,315	3,370	3,456	3,535	3,607	3,655	3,690	3,734	3,786	3,823	3,853	3,862
8,8	2,487	2,656	2,812	2,935	3,038	3,124	3,211	3,282	3,327	3,382	3,468	3,548	3,619	3,666	3,702	3,746	3,798	3,835	3,865	3,875
8,9	2,500	2,668	2,824	2,948	3,050	3,136	3,223	3,293	3,340	3,393	3,481	3,560	3,631	3,678	3,715	3,758	3,811	3,848	3,878	3,888
9,0	2,512	2,681	2,837	2,960	3,062	3,148	3,235	3,305	3,352	3,405	3,493	3,573	3,643	3,690	3,727	3,770	3,823	3,861	3,890	3,901
9,1	2,524	2,693	2,849	2,972	3,074	3,159	3,246	3,317	3,364	3,417	3,505	3,585	3,655	3,702	3,739	3,782	3,835	3,873	3,902	3,913
9,2	2,536	2,706	2,861	2,985	3,085	3,170	3,257	3,329	3,376	3,429	3,517	3,597	3,667	3,714	3,750	3,794	3,847	3,885	3,915	3,925
9,3	2,549	2,718	2,872	2,997	3,097	3,182	3,268	3,340	3,388	3,440	3,530	3,608	3,678	3,725	3,762	3,806	3,859	3,897	3,927	3,938
9,4	2,561	2,731	2,884	3,010	3,108	3,193	3,279	3,352	3,400	3,452	3,542	3,620	3,690	3,737	3,773	3,818	3,871	3,909	3,940	3,950
9,5	2,573	2,743	2,896	3,022	3,120	3,204	3,290	3,364	3,412	3,464	3,554	3,632	3,702	3,749	3,785	3,830	3,883	3,921	3,952	3,962
9,6	2,585	2,755	2,908	3,034	3,131	3,216	3,302	3,376	3,424	3,475	3,565	3,644	3,713	3,760	3,797	3,842	3,895	3,933	3,964	3,974
9,7	2,597	2,767	2,919	3,045	3,142	3,228	3,314	3,388	3,435	3,487	3,576	3,656	3,724	3,772	3,809	3,854	3,907	3,945	3,976	3,986
9,8	2,610	2,780	2,931	3,057	3,153	3,239	3,326	3,399	3,447	3,498	3,588	3,667	3,736	3,783	3,820	3,865	3,918	3,957	3,987	3,999
9,9	2,622	2,792	2,942	3,068	3,164	3,251	3,338	3,411	3,458	3,510	3,599	3,679	3,747	3,795	3,832	3,877	3,930	3,969	3,999	4,011
10,0	2,634	2,804	2,954	3,080	3,175	3,263	3,350	3,423	3,470	3,521	3,610	3,691	3,758	3,806	3,844	3,889	3,942	3,981	4,011	4,023
10,1	2,646	2,816	2,966	3,092	3,187	3,274	3,361	3,434	3,482	3,532	3,622	3,702	3,769	3,817	3,855	3,900	3,953	3,992	4,023	4,035
10,2	2,658	2,828	2,978	3,103	3,199	3,286	3,372	3,446	3,494	3,544	3,633	3,714	3,780	3,828	3,867	3,911	3,965	4,004	4,035	4,046
10,3	2,671	2,840	2,989	3,115	3,211	3,297	3,382	3,457	3,506	3,555	3,645	3,725	3,790	3,840	3,878	3,923	3,976	4,015	4,046	4,058
10,4	2,683	2,852	3,001	3,126	3,223	3,309	3,393	3,469	3,518	3,567	3,656	3,737	3,801	3,851	3,890	3,934	3,988	4,027	4,058	4,069
10,5	2,695	2,864	3,013	3,138	3,235	3,320	3,404	3,480	3,530	3,578	3,668	3,748	3,812	3,862	3,901	3,945	3,999	4,038	4,070	4,081
10,6	2,707	2,876	3,025	3,150	3,246	3,332	3,416	3,492	3,541	3,588	3,679	3,758	3,823	3,873	3,912	3,956	4,010	4,049	4,081	4,092
10,7	2,719	2,888	3,037	3,161	3,258	3,343	3,428	3,504	3,552	3,598	3,689	3,769	3,834	3,883	3,923	3,967	4,021	4,060	4,093	4,104
10,8	2,732	2,900	3,048	3,173	3,269	3,355	3,440	3,515	3,562	3,609	3,700	3,779	3,844	3,894	3,933	3,978	4,031	4,071	4,104	4,115
10,9	2,744	2,912	3,060	3,184	3,281	3,366	3,452	3,527	3,573	3,619	3,710	3,790	3,855	3,904	3,944	3,989	4,042	4,082	4,116	4,127
11,0	2,756	2,924	3,072	3,196	3,292	3,378	3,464	3,539	3,584	3,629	3,721	3,800	3,866	3,915	3,955	4,000	4,053	4,093	4,127	4,138
11,1	2,768	2,936	3,084	3,208	3,304	3,389	3,475	3,551	3,595	3,639	3,732	3,811	3,877	3,926	3,966	4,011	4,064	4,104	4,138	4,149
11,2	2,780	2,948	3,096	3,220	3,315	3,401	3,486	3,562	3,605	3,650	3,743	3,822	3,888	3,937	3,977	4,022	4,075	4,116	4,150	4,160
11,3	2,793	2,960	3,108	3,231	3,327	3,412	3,497	3,574	3,616	3,660	3,753	3,832	3,899	3,947	3,988	4,033	4,087	4,127	4,161	4,172
11,4	2,805	2,972	3,120	3,243	3,338	3,424	3,508	3,585	3,626	3,671	3,764	3,843	3,910	3,958	3,999	4,044	4,098	4,139	4,173	4,183
11,5	2,817	2,984	3,132	3,255	3,350	3,435	3,519	3,597	3,637	3,681	3,775	3,854	3,921	3,969	4,010	4,055	4,109	4,150	4,184	4,194
11,6	2,829	2,996	3,144	3,267	3,361	3,446	3,529	3,607	3,648	3,692	3,786	3,865	3,932	3,980	4,022	4,067	4,121	4,161	4,195	4,205
11,7	2,841	3,008	3,156	3,279	3,373	3,456	3,540	3,617	3,658	3,702	3,797	3,876	3,943	3,991	4,034	4,079	4,132	4,172	4,206	4,216
11,8	2,854	3,020	3,168	3,290	3,384	3,467	3,550	3,628	3,669	3,713	3,808	3,886	3,955	4,003	4,045	4,090	4,144	4,183	4,217	4,227
11,9	2,866	3,032	3,180	3,302	3,396	3,477	3,561	3,638	3,679	3,723	3,819	3,897	3,966	4,014	4,057	4,102	4,155	4,194	4,228	4,238
12,0	2,878	3,044	3,192	3,314	3,407	3,488	3,571	3,648	3,690	3,734	3,830	3,908	3,977	4,025	4,069	4,114	4,167	4,205	4,239	4,249

Fig. IV.15. — DENSITÉ DU FLUIDE DU PUITS DONNÉE PAR LA DENSITÉ DU GAZ DU SÉPARATEUR ET LA RICHESSE EN CONDENSAT

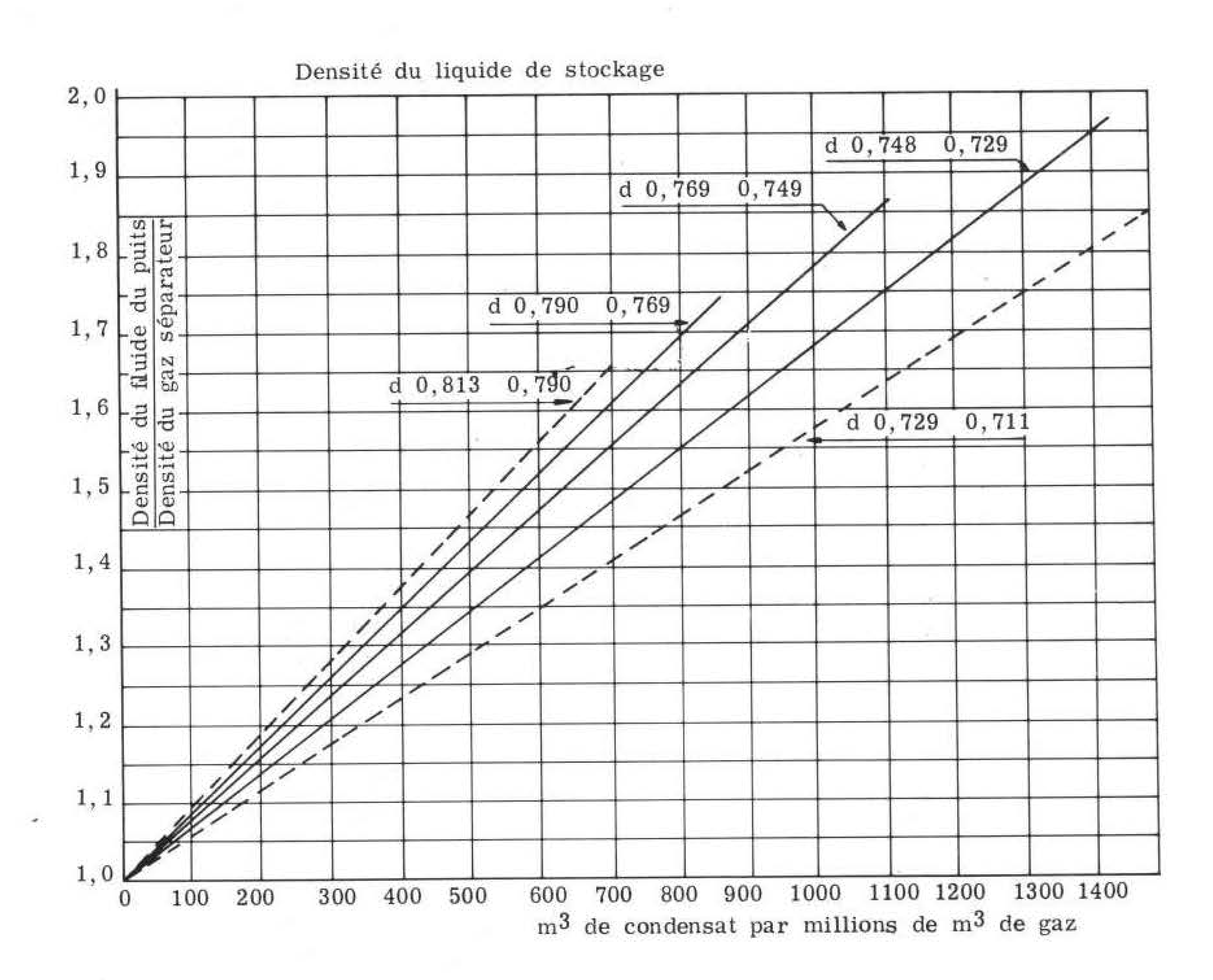


Fig. IV.16. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (1/2" - 15,8 mm)

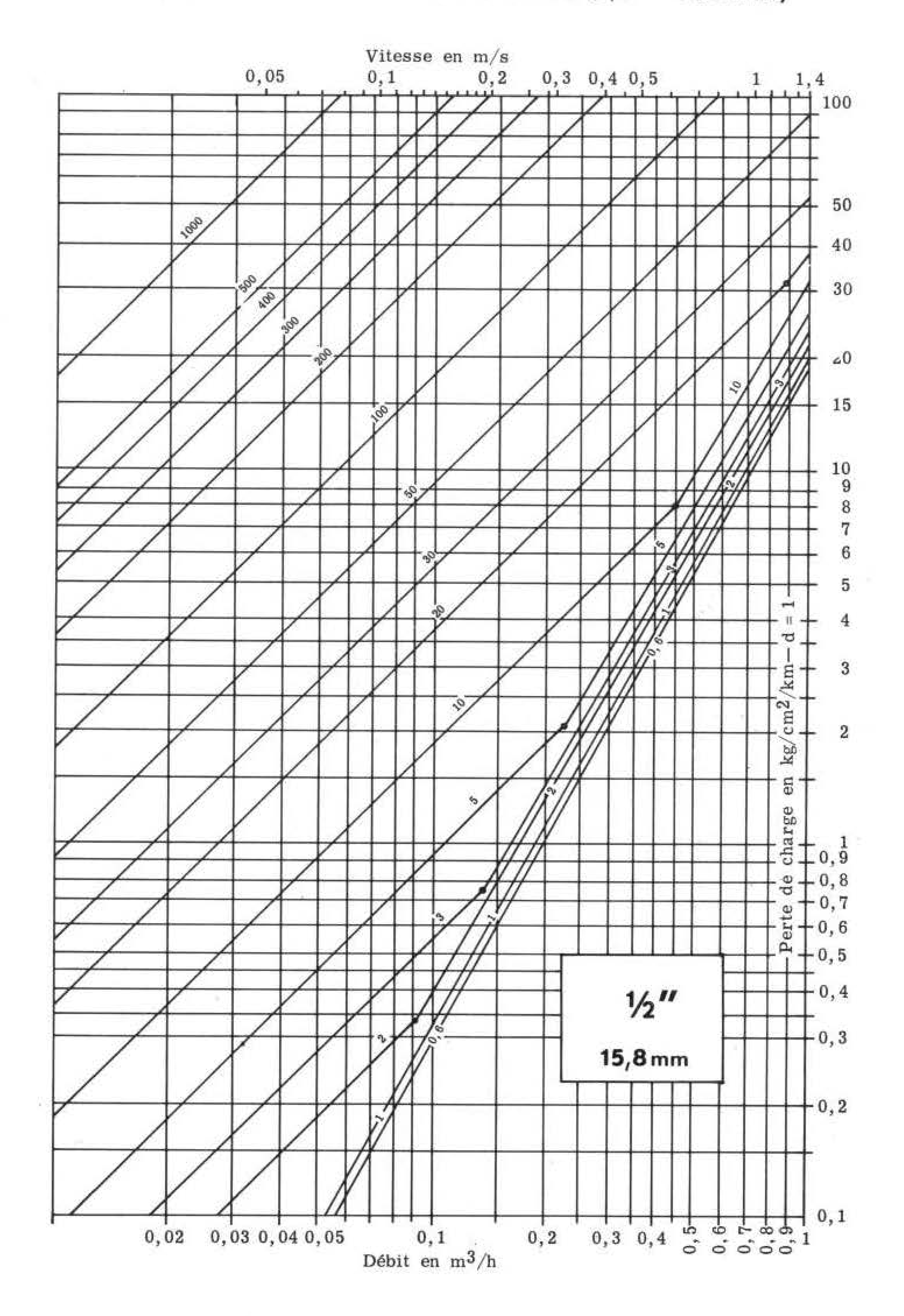


Fig. IV.17. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (1" - 26,6 mm)

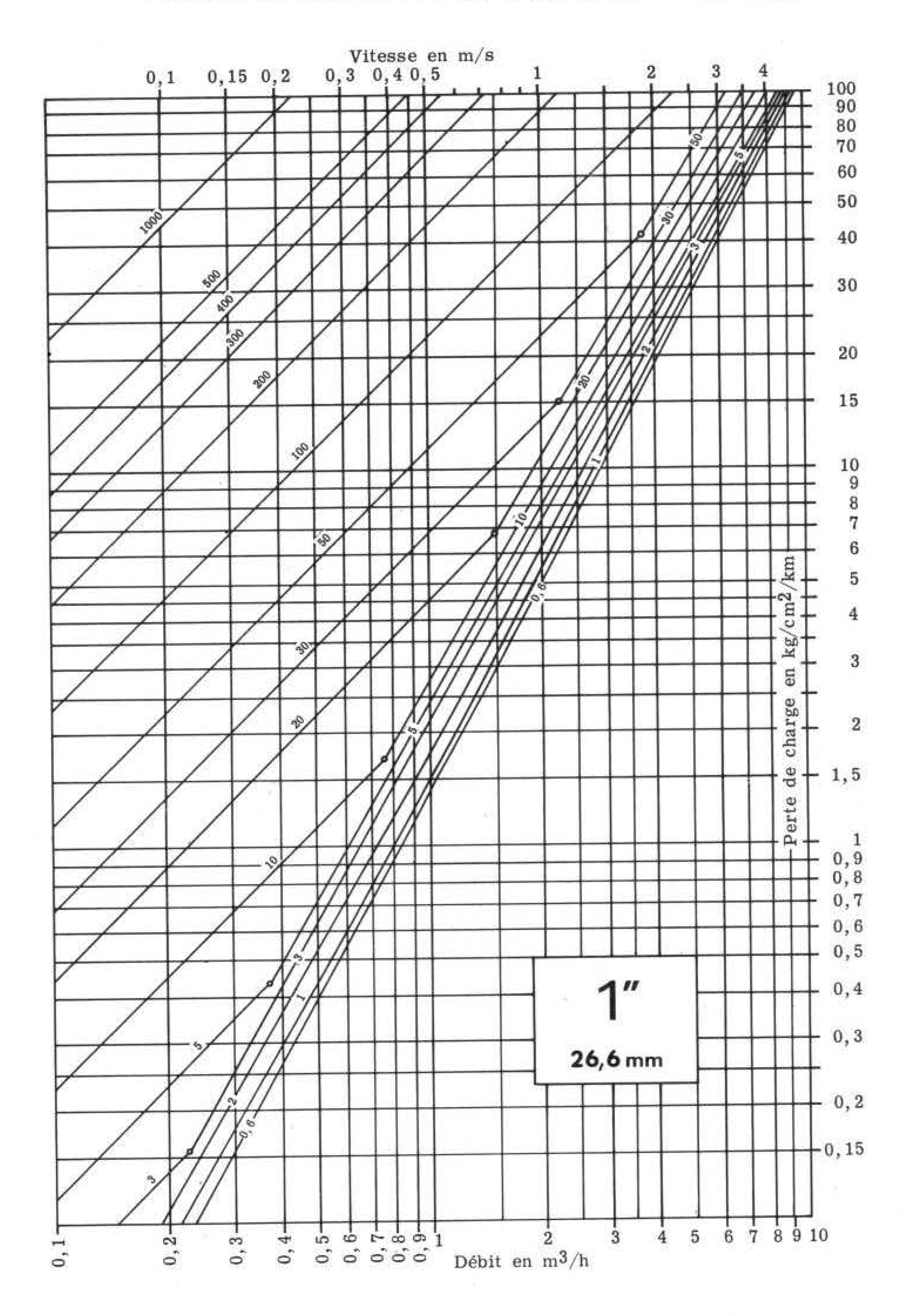


Fig. IV.18. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (1''½ - 41 mm)

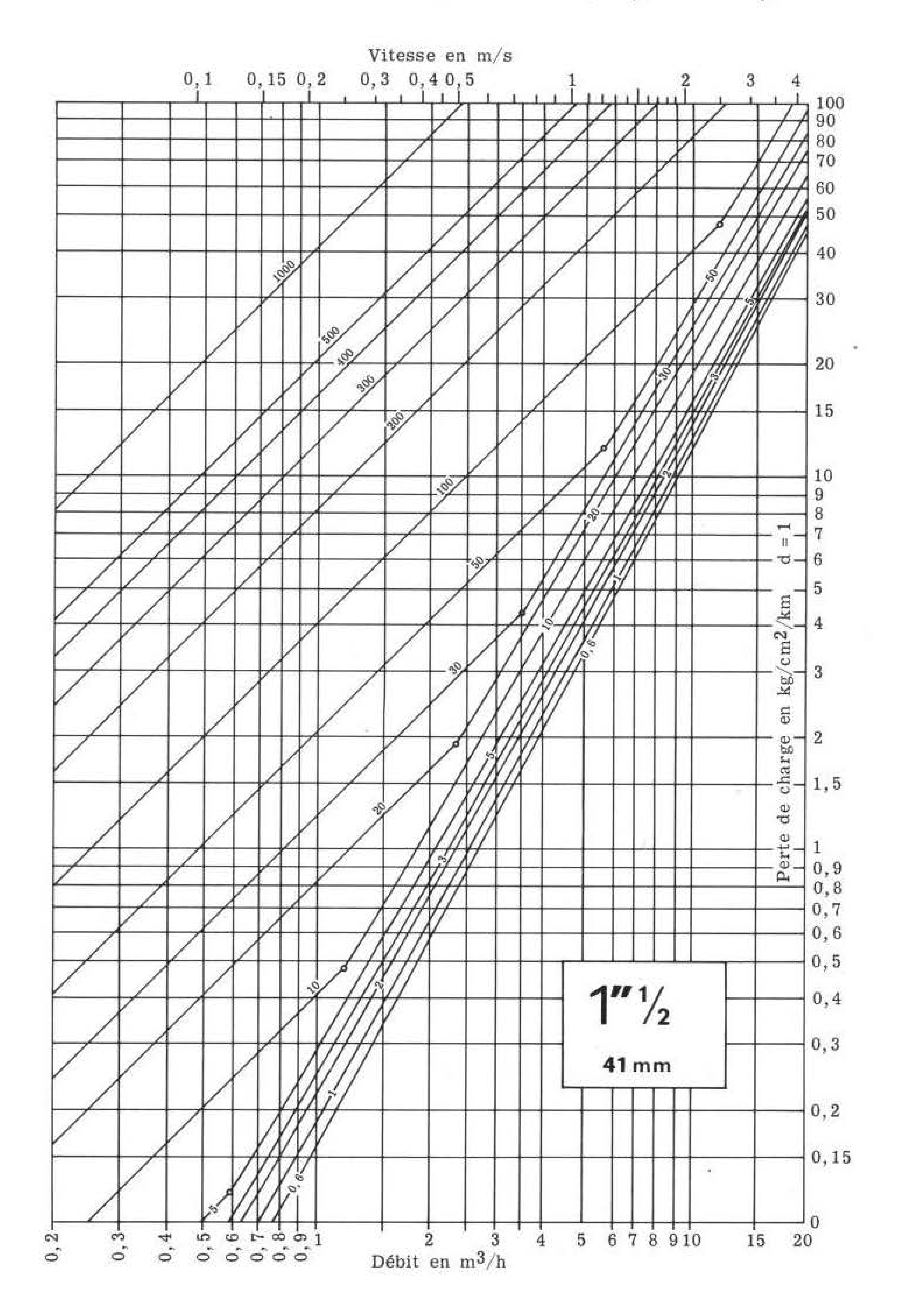


Fig. IV.19. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (2" - 52,5 mm)

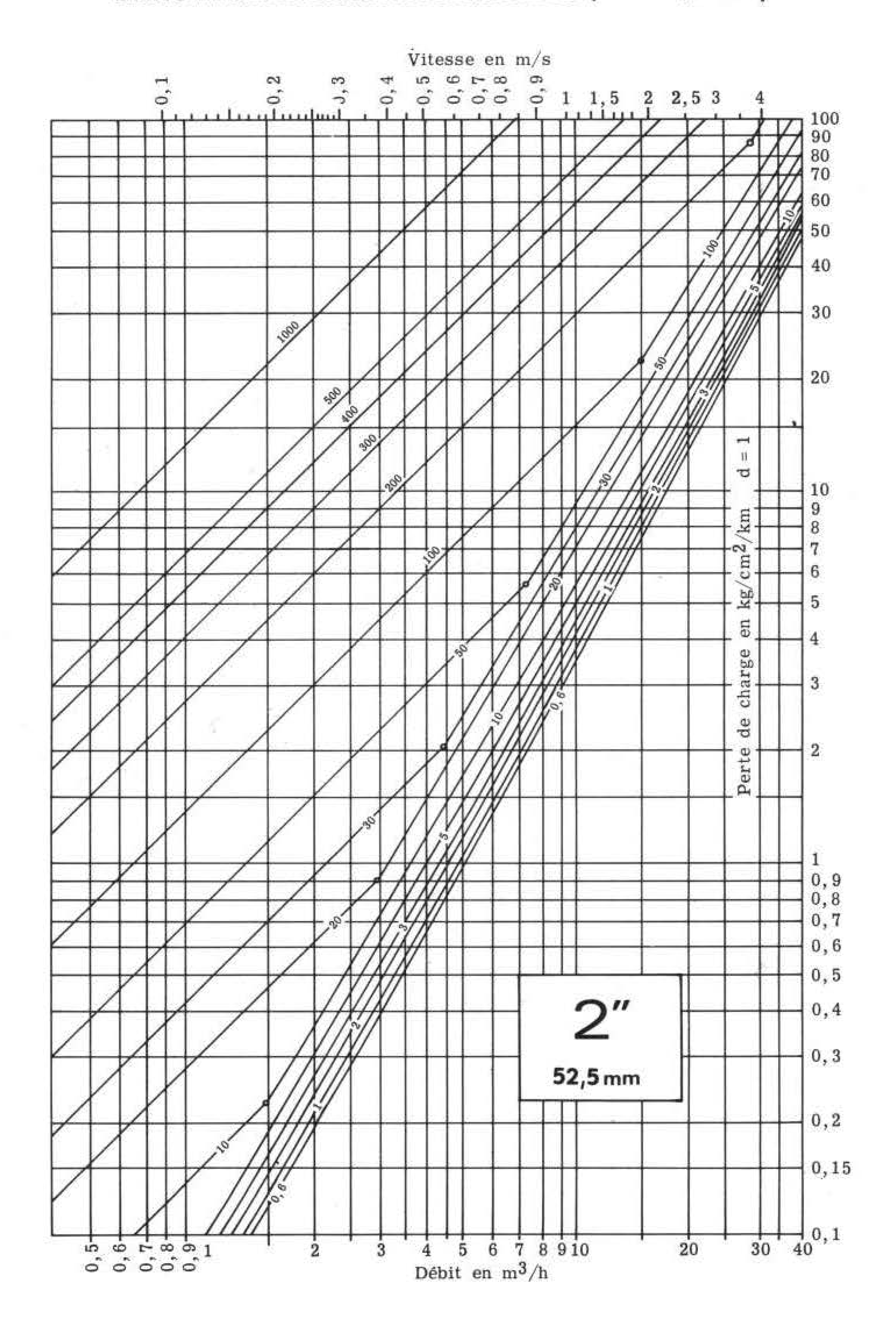


Fig. IV.20. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (4'' - 102,3 mm)

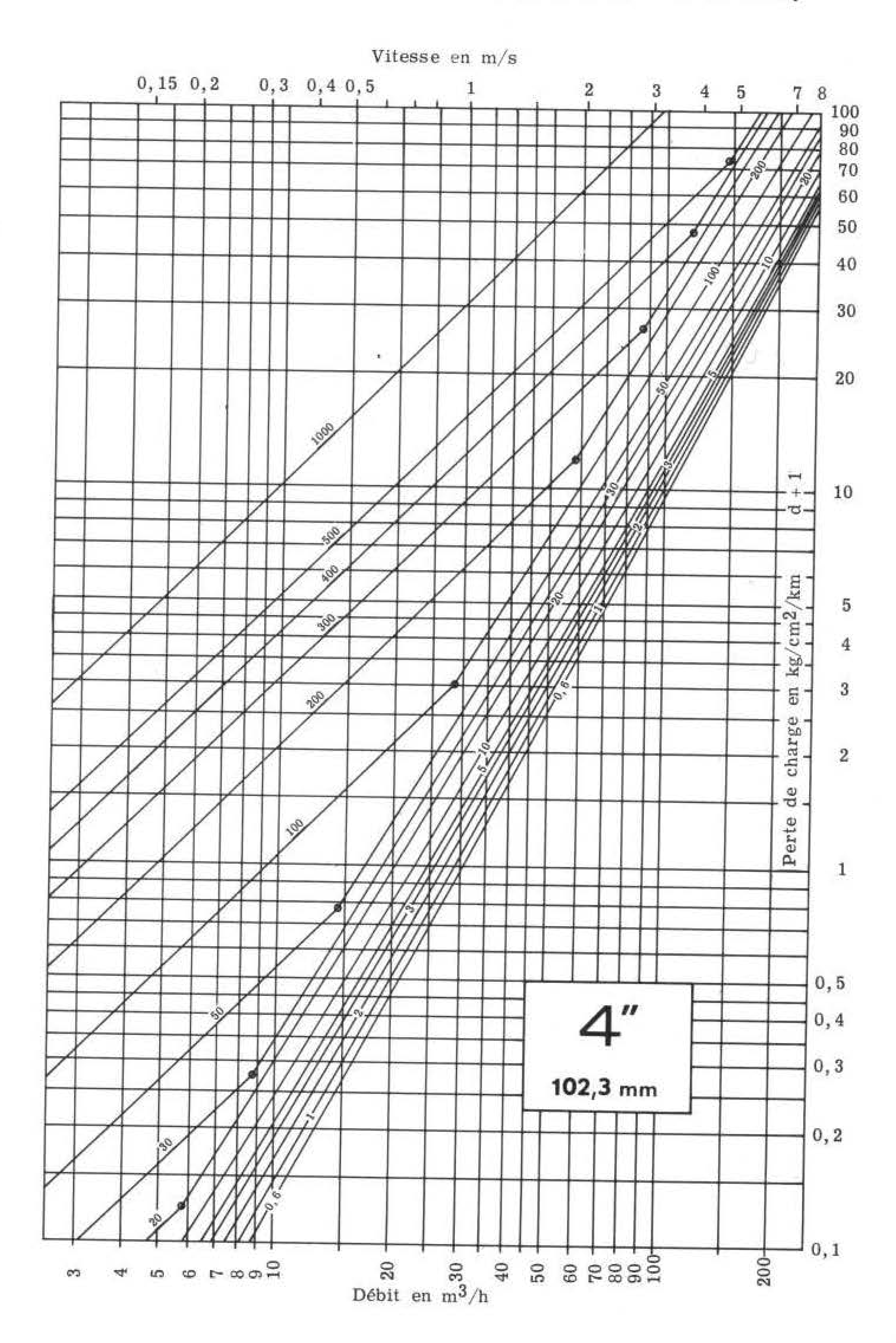


Fig. IV.21. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (6" - 154 mm)

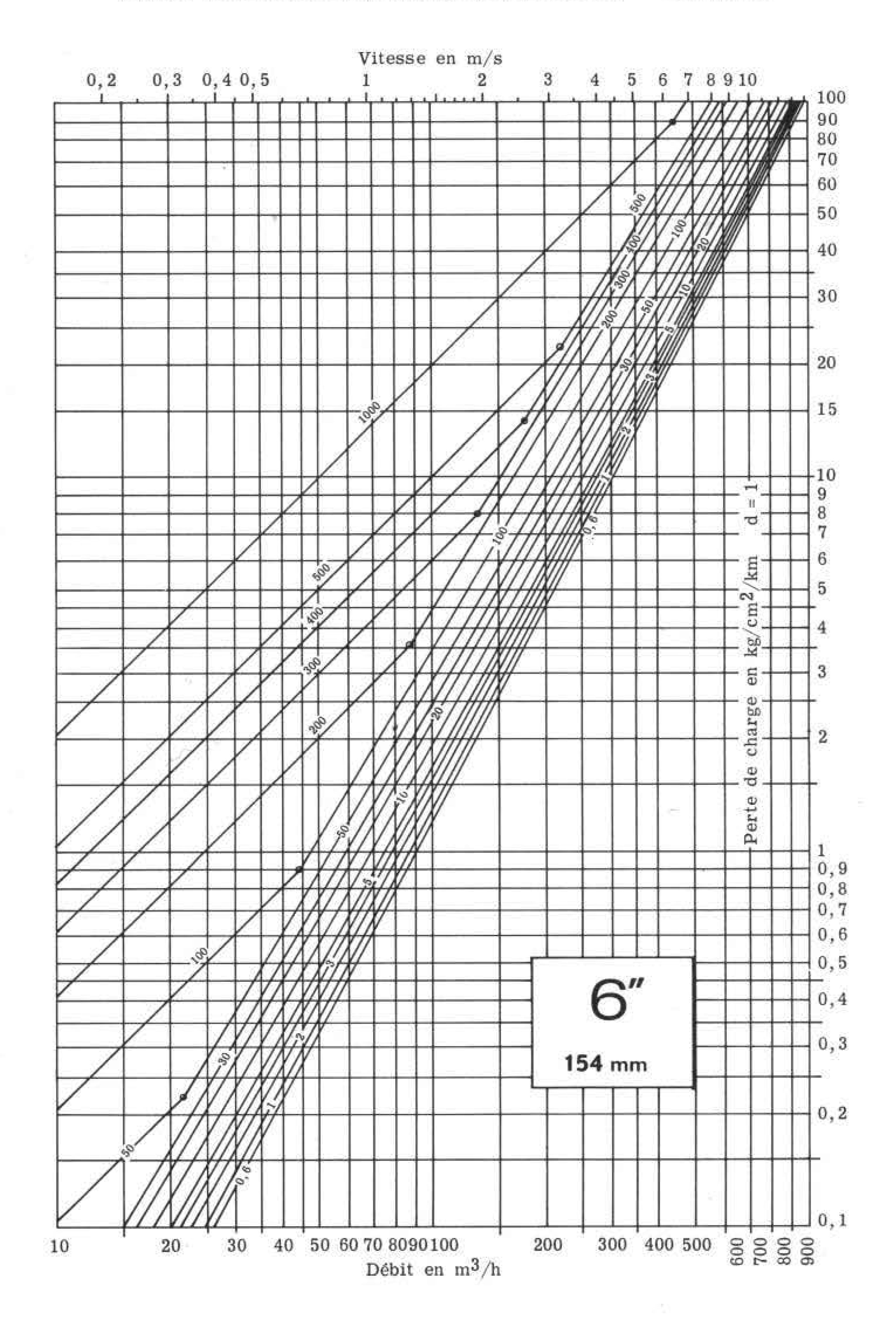


Fig. IV.22. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (8" - 202,7 mm)

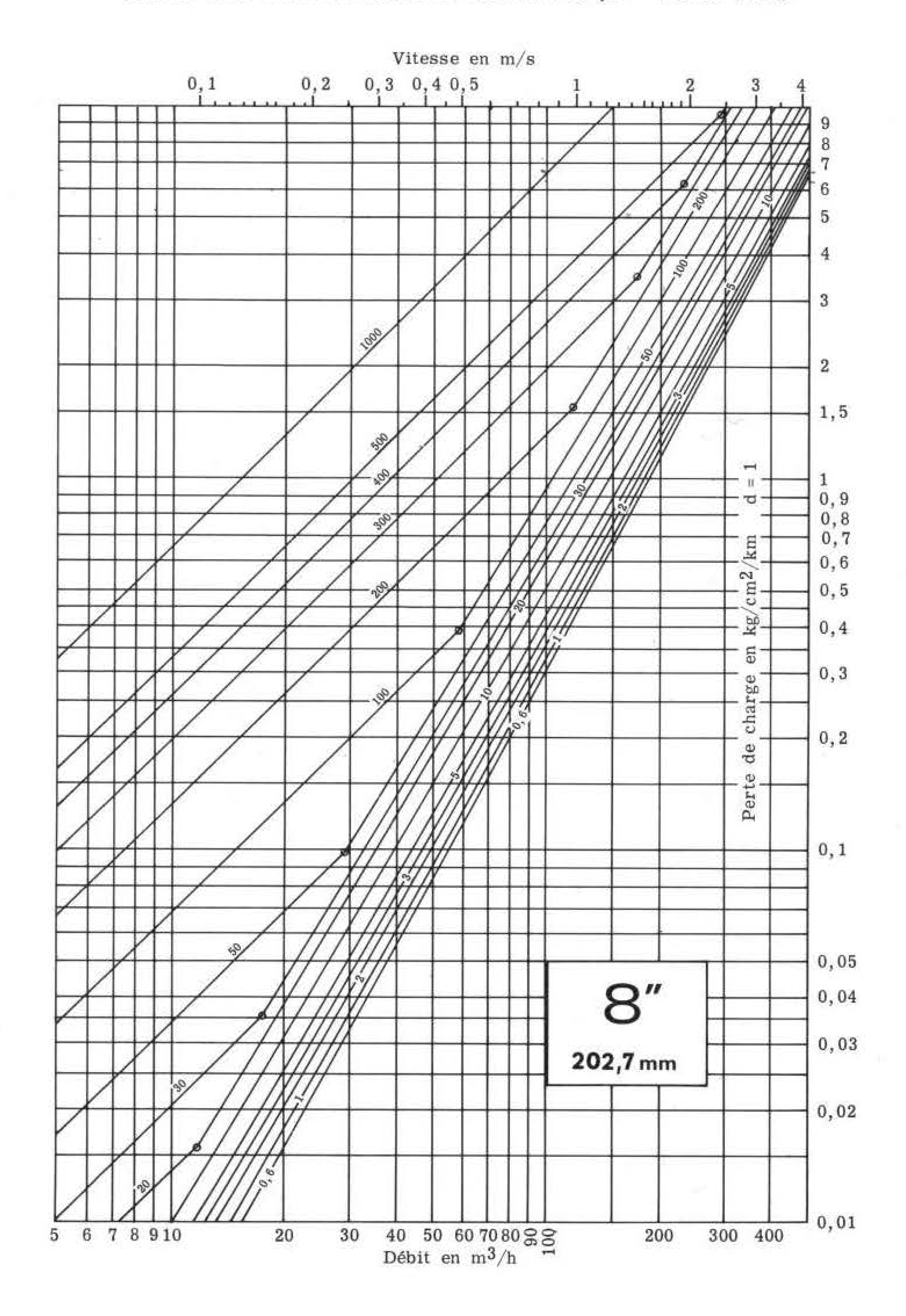


Fig. IV.23. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (10" - 254,5 mm)

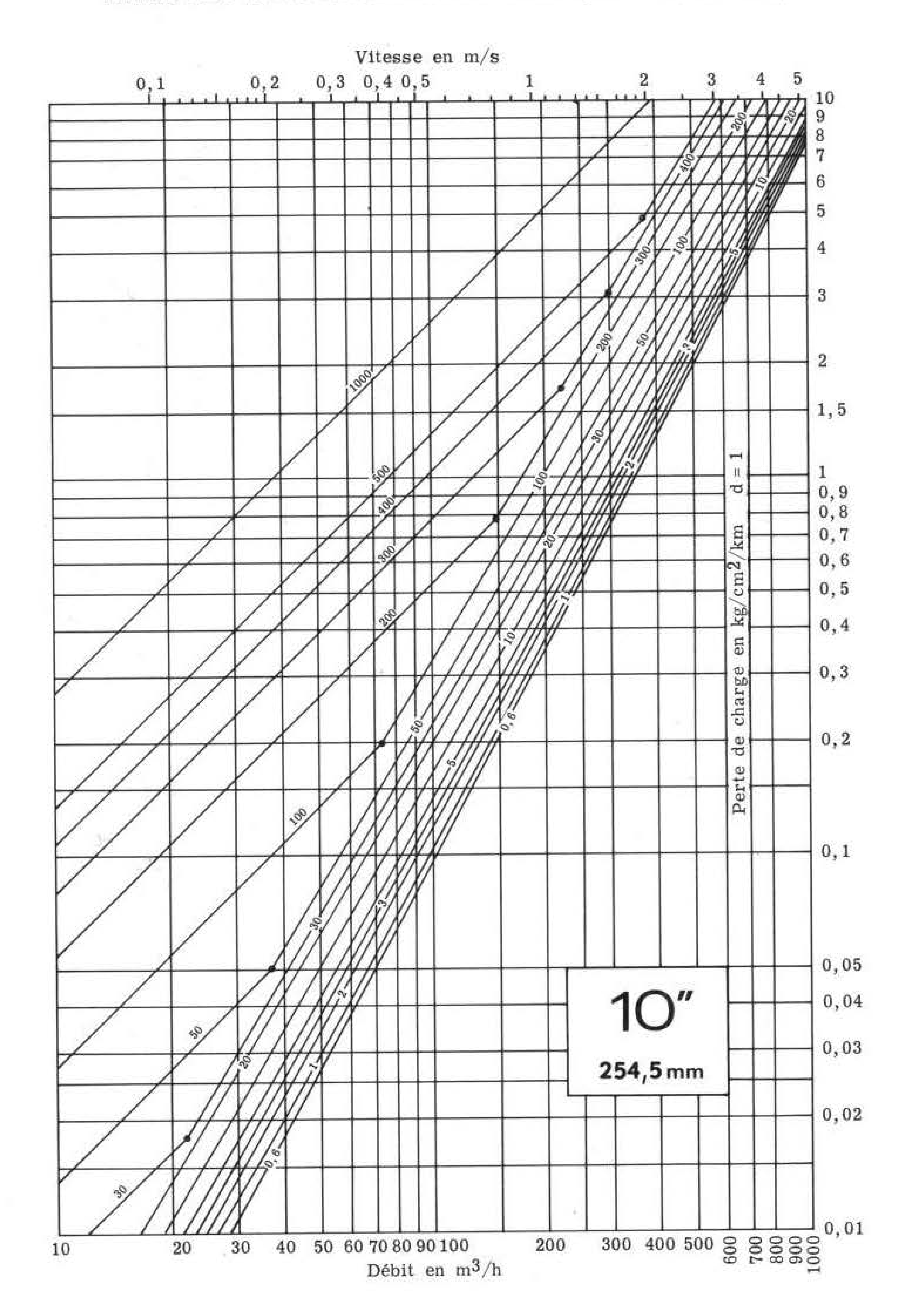


Fig. IV.25. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (18" - 436,4 mm)

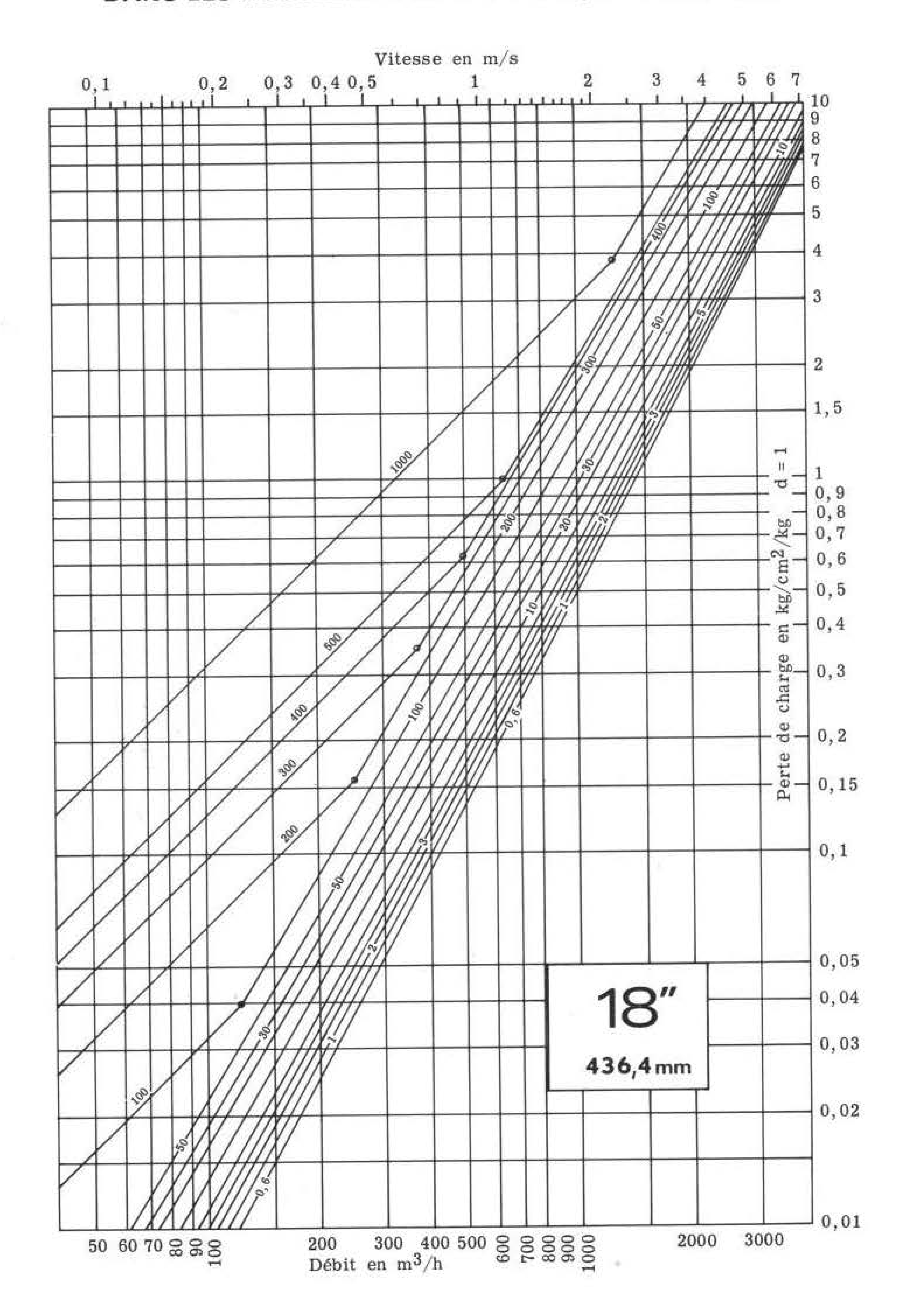


Fig. IV.24. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (14'' - 336,5 mm)

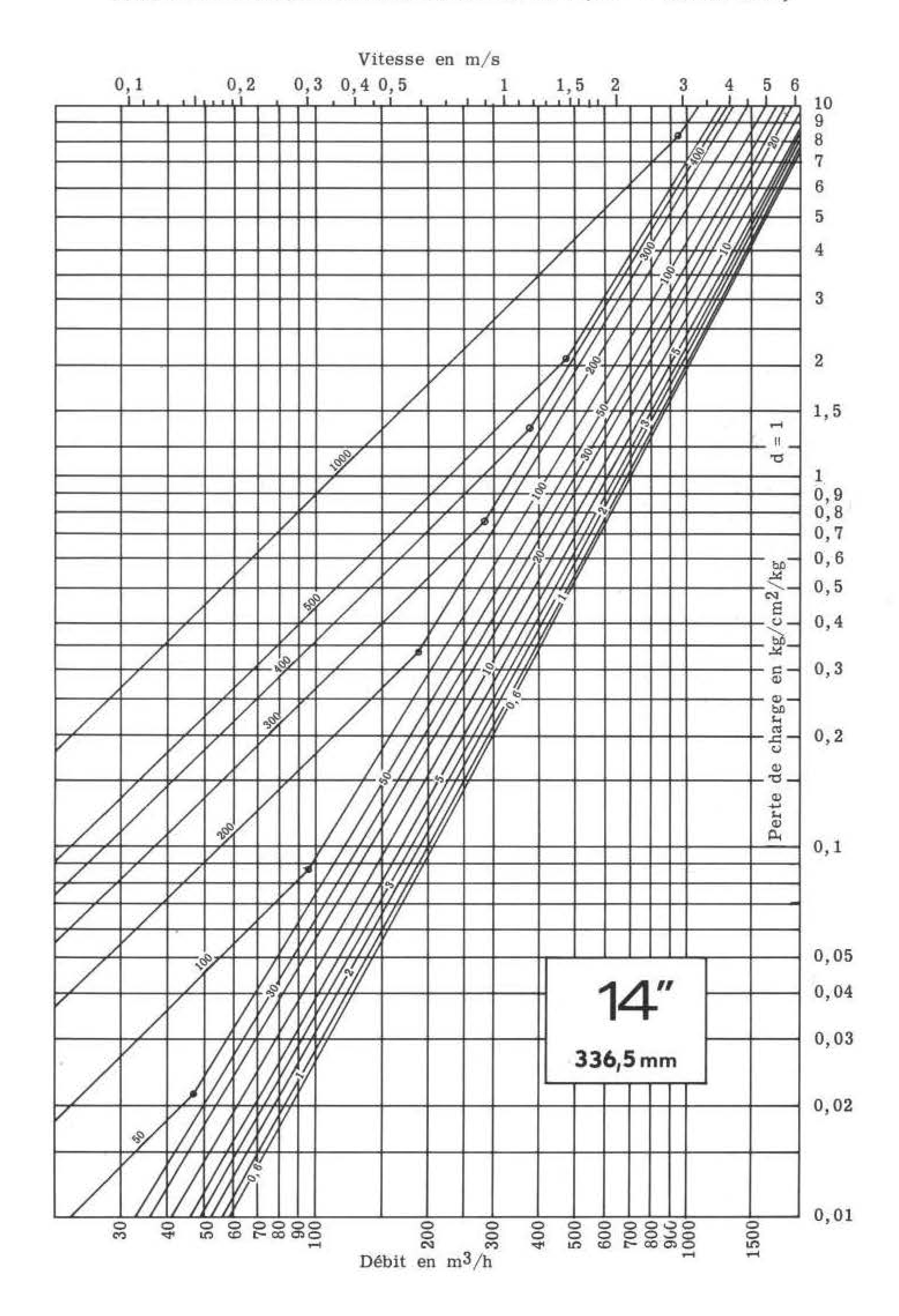


Fig. IV.26. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (24" - 589 mm)

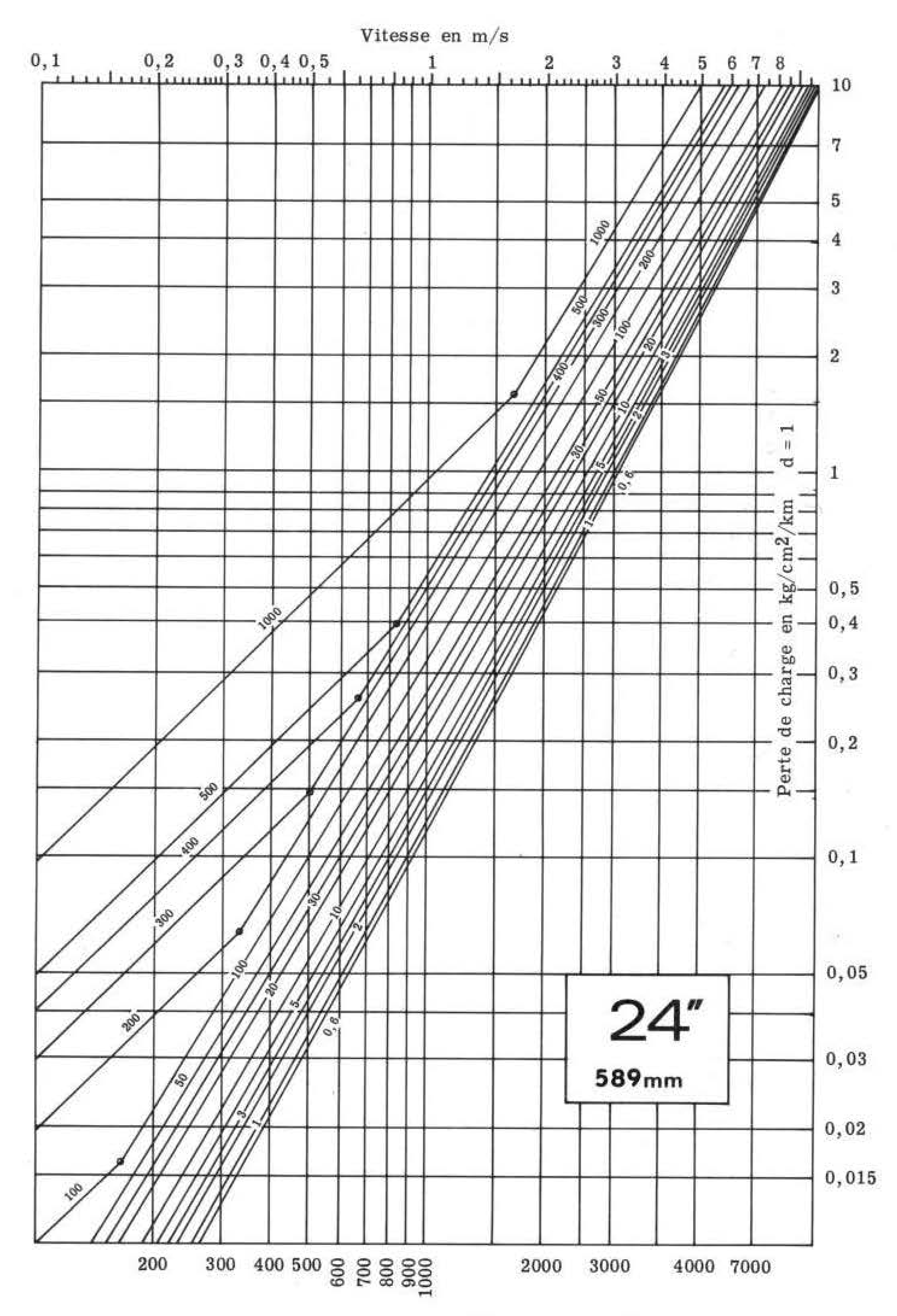


Fig. IV.27. — PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS LIQUIDES (30" - 740 mm)

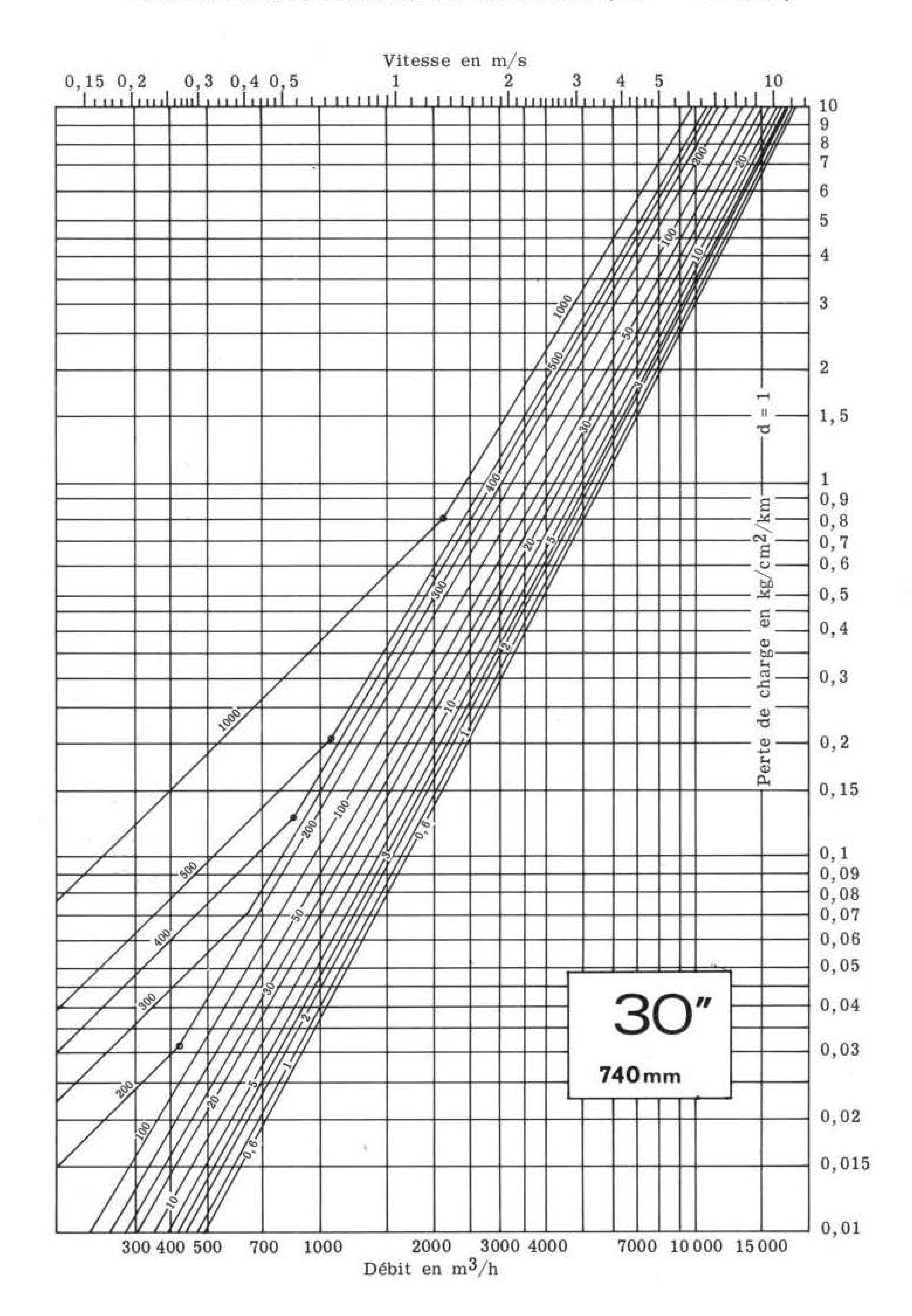


Fig. IV.28. — ESTIMATION DE LA PERTE DE CHARGE EN ÉCOULEMENT DIPHASIQUE DANS LES CANALISATIONS HORIZONTALES

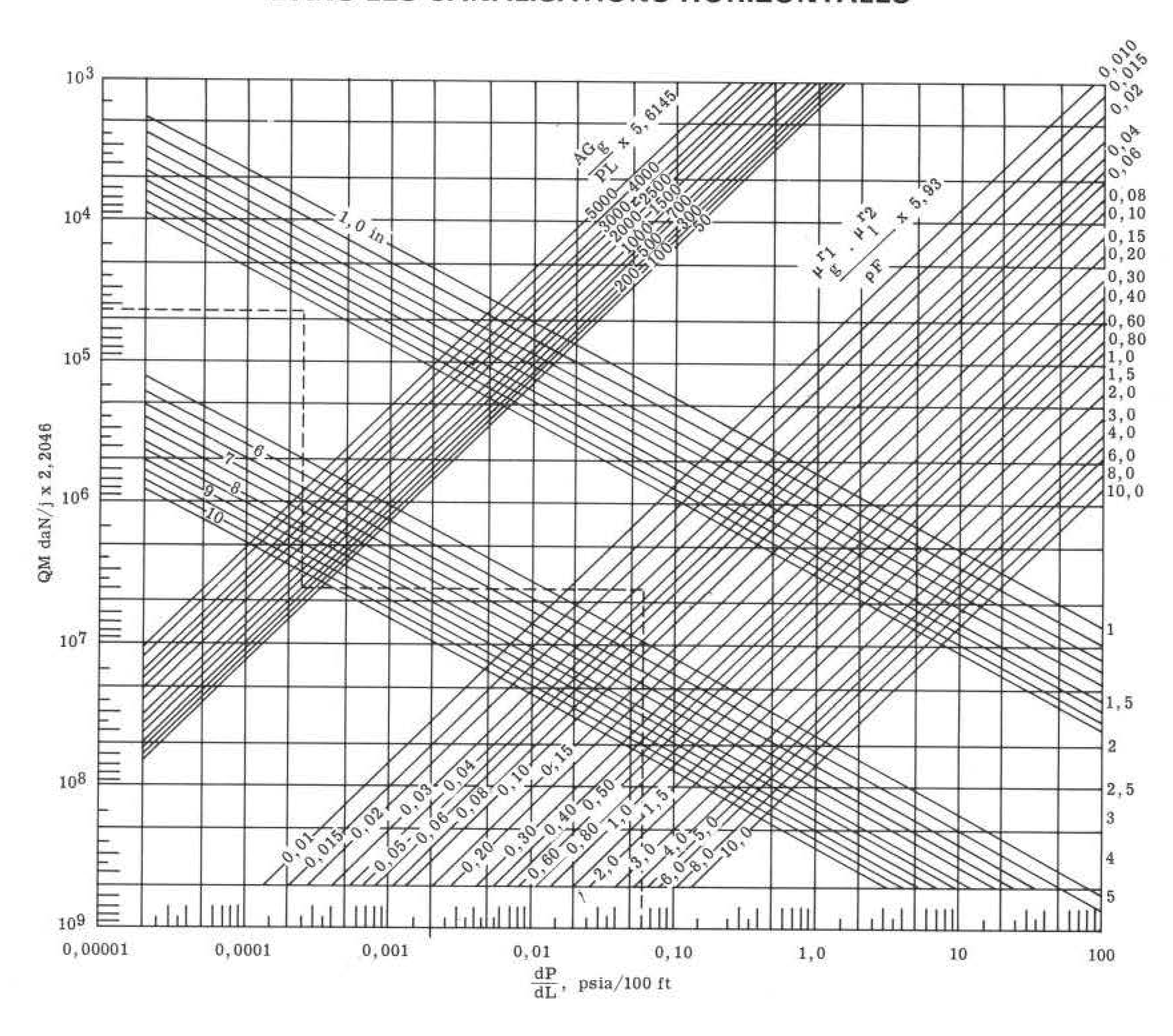


Fig. IV.29. — FACTEUR DE CORRECTION
DU GRADIENT DE PRESSION

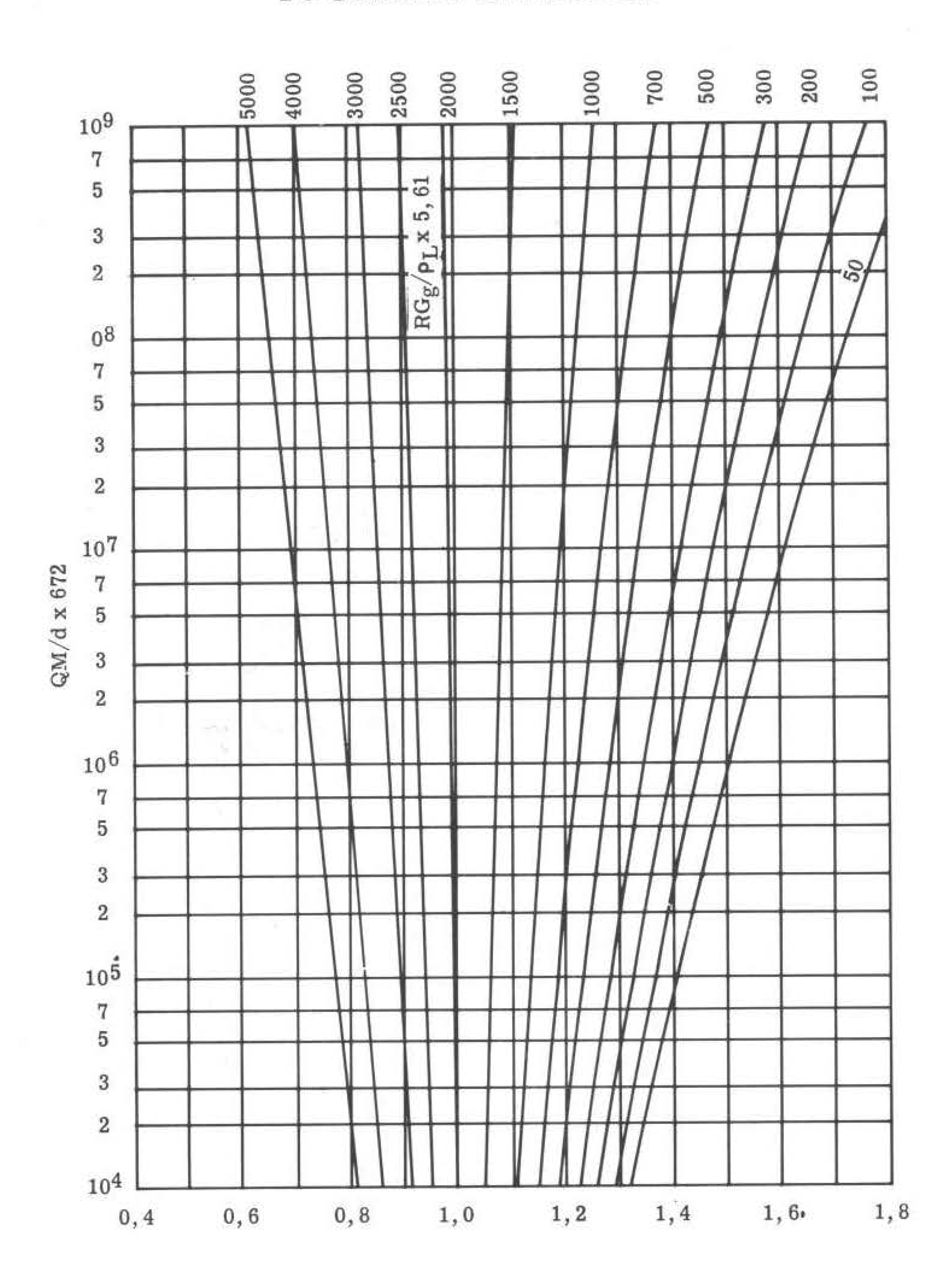


Fig. IV.30. — FACTEUR DE DÉTERMINATION DU GRADIENT DE PRESSION

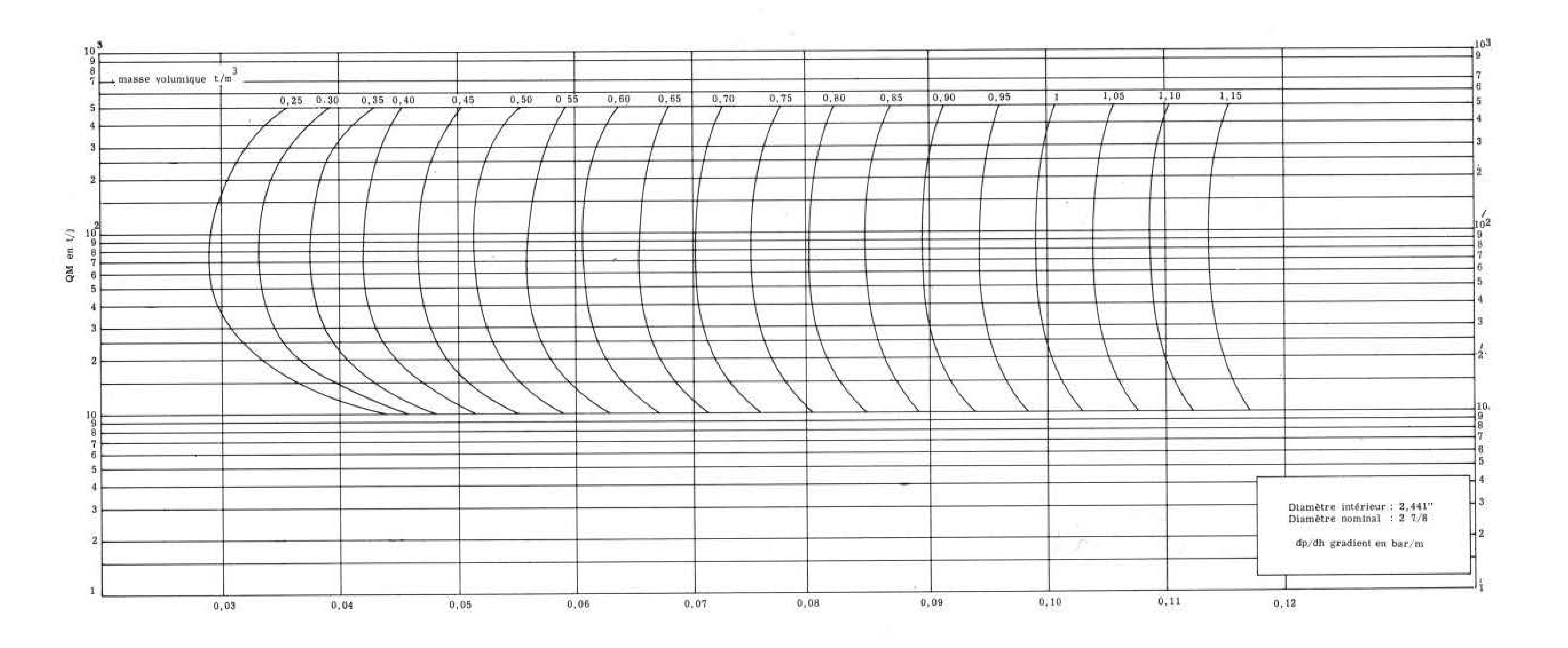


Fig. IV.31. — EXEMPLE DE VARIATION DU F.V.F.

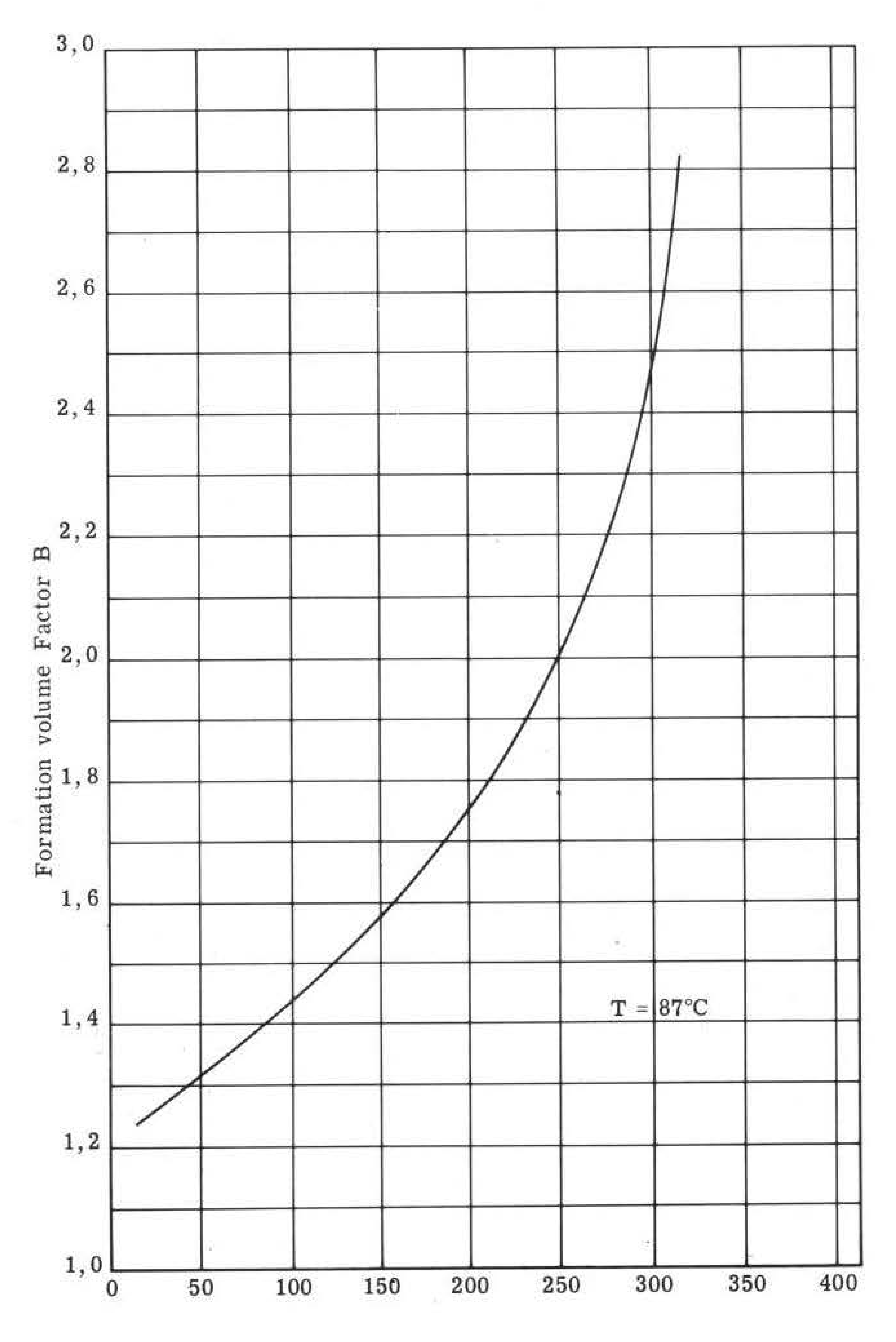


Fig. IV.32. — EXEMPLE DE VARIATION DE LA SOLUBILITÉ

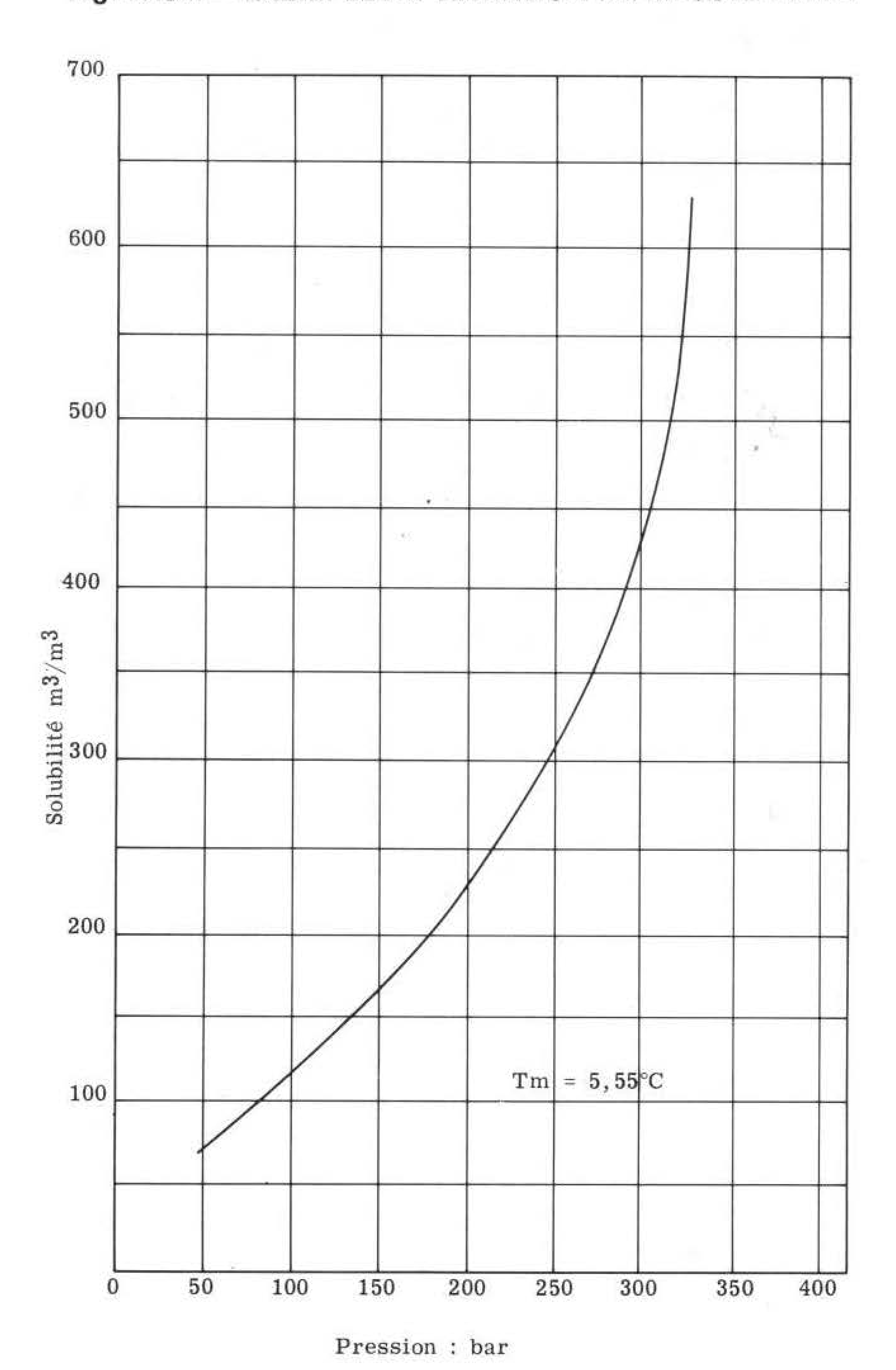


Fig. IV.33. — ÉCOULEMENT SIMULTANÉ GAZ-HUILE A TRAVERS LES DUSES (CONDITIONS CRITIQUES). DENSITÉ HUILE 20° A.P.I.

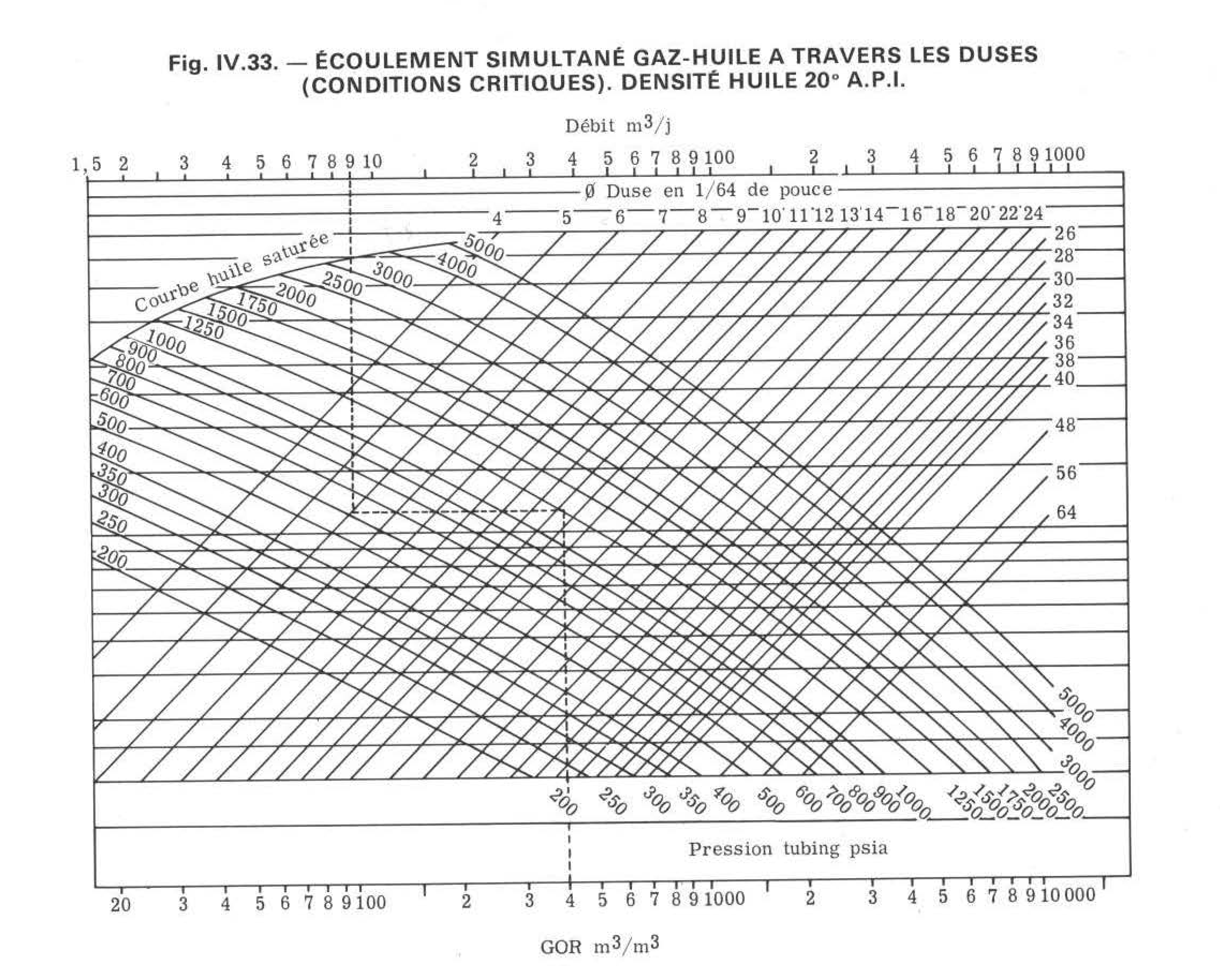


Fig. IV.34. — ÉCOULEMENT SIMULTANÉ GAZ-HUILE A TRAVERS LES DUSES (CONDITIONS CRITIQUES). DENSITÉ HUILE 30° A.P.I.

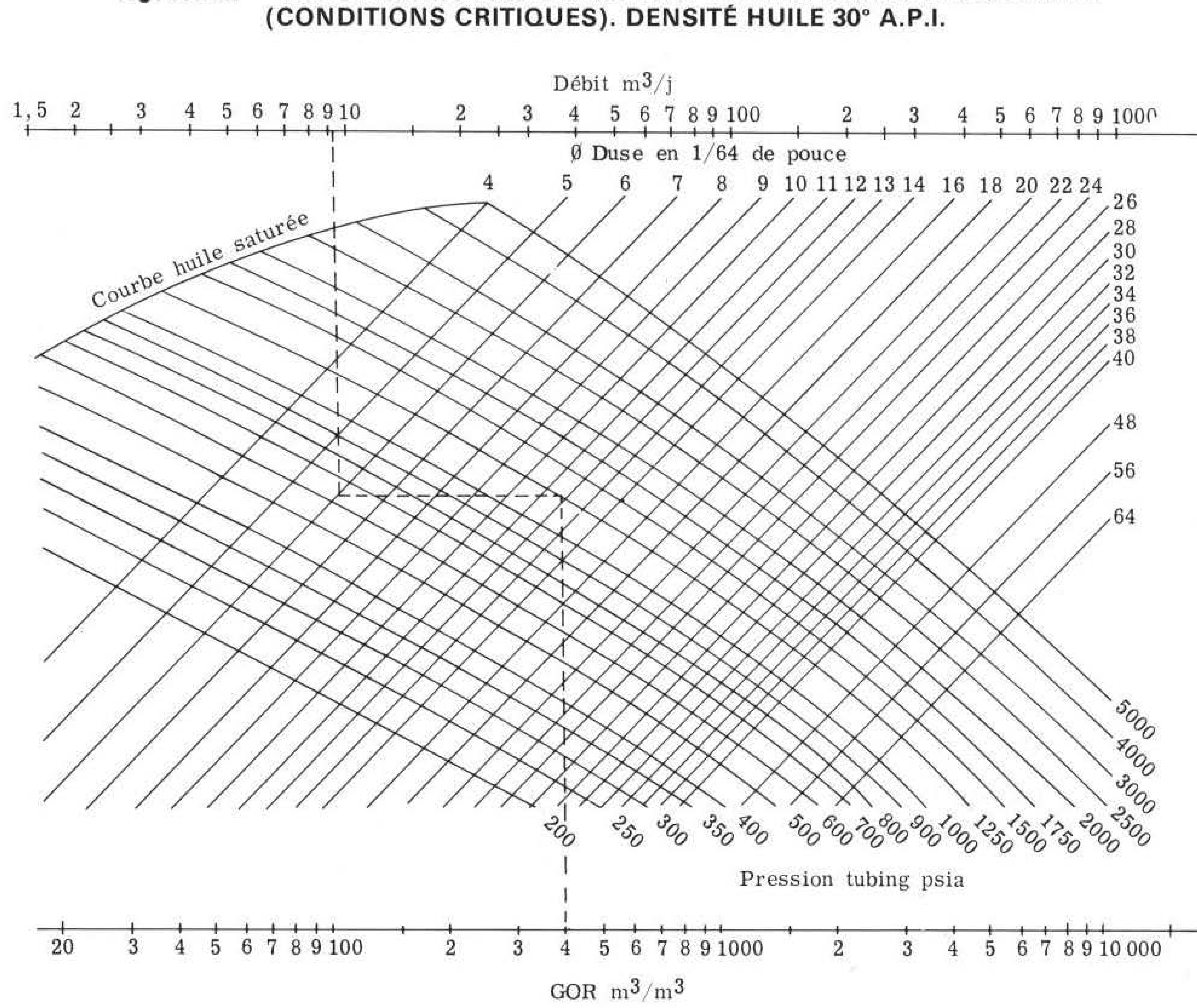
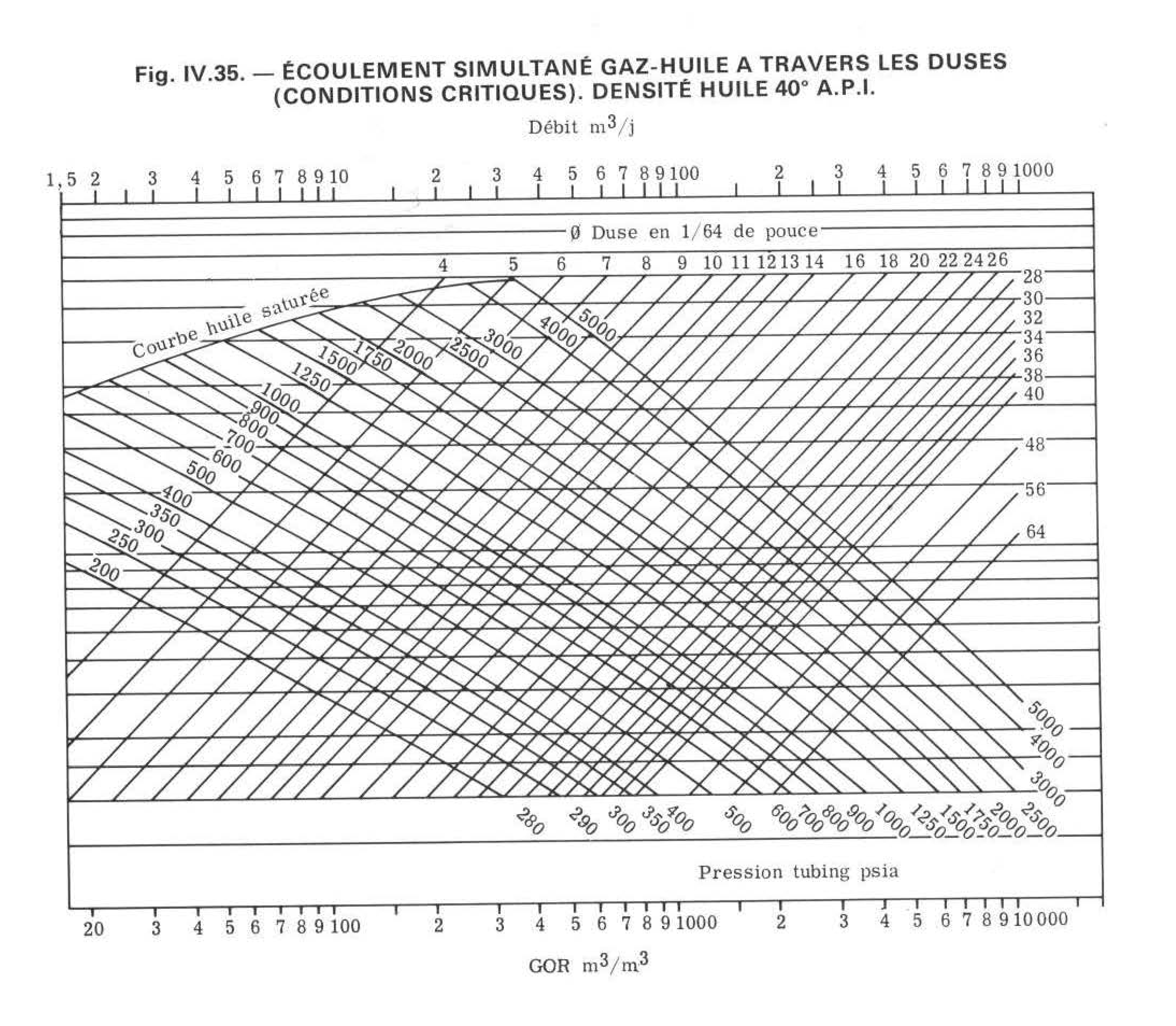


Fig. IV.35. — ÉCOULEMENT SIMULTANÉ GAZ-HUILE A TRAVERS LES DUSES (CONDITIONS CRITIQUES). DENSITÉ HUILE 40° A.P.I.



CHAPITRE V

chapitre **V**

PUITS EN POMPAGE

SOMMAIRE

SYMBOLES UTILISÉS

A_p : section du piston en cm^2
A_t : section des tiges de pompage en cm^2
A_r : section du tubing en cm^2
A_{pN} : section nette du piston ($A_p - A_t$) en cm^2
C.E : effet de contre-poids en daN
d : densité du fluide
D : dépassement de la course du piston en pouces
e_t : allongement des tiges de pompage en pouces
e_T : allongement du tubing en pouces
F : facteur d'accélération
L : profondeur de la pompe en mètres
N : nombre de coups par minute
P_f : poids du fluide sur le piston en daN
P_M : charge maximale à la tige polie en daN
P_m : charge minimale à la tige polie en daN
P_t : poids des tiges en daN
P_H : pression hydrostatique en bars
$\mathcal{P}_H$: puissance hydraulique en kW
$\mathcal{P}_m$: puissance mécanique en kW
Q : débit de la pompe en m^3/j
S : course de la tige polie en pouces
S_p : course du piston en pouces

FORMULES

1) Poids du fluide sur le piston (tableau VI) :

$$P_f = A_{pN} \times P_H$$

avec P_H = pression hydrostatique à la cote du clapet fixe en bars

$$P_H = L \times d \times 0{,}098$$

2) Facteur d'accélération F (tableau V) :

$$F = 1 + \frac{SN^2}{70500}$$

3) Charge maximale à la tige polie P_M :

$$P_M = P_f + P_t \times F$$

avec P_t = poids des tiges (voir tableau VI).

4) Charge minimale à la tige polie P_m :

$$P_m = P_t\,(1{,}87 - F)$$

5) Contrainte maximale sur les tiges n_M :

$$n_M = \frac{P_M}{A_t} < 21 \text{ hbars}$$

6) Allongement des tiges e_t :

$$e_t = 1,927.10^{-6}\ A_{pN}\ x\ L \sum \frac{L_i}{A_{t_i}}\ x\ d$$

$$= c_t\ (\frac{L}{1000})^2 \qquad \text{(colonne simple)}$$

$$= (\sum \frac{c_{t_i}\ L_i}{L})\ (\frac{L}{1000})^2 \qquad \text{(colonne composée)}$$

(L_i : longueur en mètres du tronçon de tiges considéré dans le cas d'une colonne composée).

Le tableau VII donne la valeur de c_t.

7) Allongement du tubing e_T :

$$e_T = 1,927.10^{-6}\ A_{pN} \cdot \frac{L^2}{A_T} \cdot d$$

8) Dépassement de la course du piston D :

$$D = 1,46.10^{-5}\ L^2\ (F - 1)$$

9) Course du piston S_p :

$$S_p = S - (e_T + e_t) + D$$

10) Débit d'une pompe : Q (fig. V.3) :

$$Q = 3,658.10^{-3} . \eta_v\ x\ A_p\ x\ S_p\ x\ N$$

ou : $Q = \lambda . S_p . N . \eta_v$

avec λ : constante du piston (voir tableau I).

11) Effet de contre-poids :

$$CE = \frac{P_M + P_m}{2}$$

12) Couple maximal :

$$\Gamma_M = (P_M - CE)\ \frac{S}{2}$$

13) Puissance hydraulique (fig. V.2) :

$$\mathcal{P}_H = 1,135.10^{-4} . Q . L . d$$

14) Puissance mécanique :

$$\mathcal{P}_m = \frac{\mathcal{P}_H}{\eta_G}$$

avec η_G : de l'ordre de 0,35 à 0,40.

15) Fréquences recommandées (fig. V.4) :

$$N = \frac{72240}{K.L}$$

avec K : un entier plus un demi (Train de tiges simple)

$$N = \frac{328}{K\sqrt{R}} \quad \text{ou} \quad N = \frac{72240}{0,9\ K.L}$$

avec R : allongement du train de tiges sous son propre poids dans l'air (Train de tiges composé).

TABLEAU I. CARACTÉRISTIQUES DES PISTONS

Diamètre du piston (en ")	Section du piston (en cm^2)	Constante λ du piston pour calcul débit (en m^3/j)
3/4	2,85	$1,042\ 10^{-2}$
7/8	3,88	$1,419\ 10^{-2}$
1	5,067	$1,853\ 10^{-2}$
1 1/16	5,72	$2,092\ 10^{-2}$
1 1/4	7,916	$2,895\ 10^{-2}$
1 1/2	11,40	$4,170\ 10^{-2}$
1 3/4	15,52	$5,676\ 10^{-2}$
1 25/32	16,08	$5,881\ 10^{-2}$
2	20,27	$7,414\ 10^{-2}$
2 1/4	25,65	$9,382\ 10^{-2}$
2 1/2	31,67	$11,584\ 10^{-2}$
2 3/4	38,32	$14,02\ 10^{-2}$
3 1/4	53,52	$19,57\ 10^{-2}$
3 3/4	71,25	$26,06\ 10^{-2}$
4 3/4	114,33	$41,82\ 10^{-2}$

$$Q^{3}_{m/j} = \lambda\ S''.\ N^{cp/mn}\ \eta_v$$

TABLEAU II. DIAMÈTRES DE PISTON RECOMMANDÉS POUR LES CONDITIONS OPTIMALES DE POMPAGE

Montée effective (m)	Production en m^3/jour - Rendement volumétrique 80 %									
	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
600	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	2 3/4	2 3/4	2 3/4	2 3/4
	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2				
900	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	2 1/2	2 3/4	2 3/4	2 3/4	2 3/4
	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/4	2 1/2			
1200	1 1/4	1 3/4	2	2 1/4	2 1/4	2 1/4	2 1/4	2 1/4		
		1 1/2	1 3/4	2	2					
1 500	1 1/4	1 3/4	2	2	2 1/4	2 1/4				
		1 1/2	1 3/4	1 3/4	2					
1800	1 1/4	1 1/2	1 3/4	1 3/4						
		1 1/4	1 1/2							
2100	1 1/4	1 1/2				Valable pour des courses de tige polie ⩽ 74 pouces				
	1 1/8	1 1/4								
2400	1 1/4									
	1 1/8									

TABLEAU III. DÉSIGNATION DES POMPES DE FOND
(St 11 AX - mars 1964 - A.P.I.)

	Piston métallique			Piston avec garniture	
	cylindre épais	cylindre chemisé	cylindre mince	cylindre épais	cylindre mince
Cylindre fixe Ancrage en haut	R H A	R L A	R W A		R S A
Cylindre fixe Ancrage en bas	R H B	R L B	R W B		R S B
Cylindre mobile Ancrage en bas	R H T	R L T	R W T		R S T
Pompes tubing	T H	T L		T P	

La désignation complète d'une pompe comporte :

1) Dimension nominale du tubing :

Diamètre tubing : 1,900 2 3/8 2 7/8 3 1/2

Repère : 15 20 25 30

2) Diamètre du piston :

Diamètre piston : 1 1/16, 1 1/4, 1 1/2, 1 3/4, 1 25/32, 2, 2 1/4, 2 1/2, 2 3/4

Repère : 106 125 150 175 178 200 225 250 275

3) Type de pompe :

R (Rod) Insertie T . Tubing;

4) Type de cylindre
5) Position de l'ancrage } voir tableau

6) Type d'ancrage :

C. à coupelle M. Mécanique;

7) Longueur du cylindre en pieds ;

8) Longueur minimale du piston en pieds ;

9) Longueur totale des rallonges en pieds

Exemple : Une pompe 1 1/4" insertie avec un cylindre chemisé de 7 pieds et 4 pieds de rallonge, un piston de 2 pieds, un ancrage à coupelle en bas, pour être utilisée dans un tubing 2 3/8, sera désignée par :
20 125 RLBC-7-2-4

TABLEAU IV . CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES TIGES DE POMPAGE

Dimension nominale = D		Caracté-ristiques filetage	Diamètre extérieur du manchon		Ouverture clé de vissage		Section des tiges	Poids* dans l'air	Coúple de blocage** (m x daN)	
(in)	(mm)	(in)	Standard (mm)	Réduit (mm)	Tiges (mm)	Manchon (mm)	(cm^2)	(daN/m)	Contrainte < 24 hbars	Contrainte >24 hbars
1/2	12,7	3/4	-	25,4	15,9	-	1,27	0,993	15	16
5/8	15,9	15/16	38,1	31,7	22,2	34,9	1,98	1,66	30	33
3/4	19	1 1/16	41,3	38,1	25,4	38,1	2,85	2,37	47	52
7/8	22,2	1 3/16	46	41,3	25,4	41,3	3,88	3,17	70	77
1	25,4	1 3/8	55,6	50,8	33,3	47,6	5,07	4,20	108	119
1 1/8	28,6	1 9/16	60,3	-	38,1	54	6,41	5,36	149	164

* D'après E.M.S.C.O.

** D'après A.P.I.

TABLEAU V . FACTEUR D'ACCÉLÉRATION

Cadence coups/mn	Course en pouces														
	12	18	24	34	44	54	64	74	84	96	108	120	144	180	240
2															1,014
4					1,010	1,012	1,015	1,017	1,019	1,022	1,025	1,027	1,033	1,041	1,053
6			1,013	1,017	1,023	1,028	1,033	1,038	1,043	1,049	1,055	1,062	1,074	1,091	1,122
8	1,011	1,016	1,023	1,031	1,040	1,049	1,058	1,068	1,076	1,088	1,099	1,110	1,132	1,164	1,218
10	1,017	1,026	1,035	1,048	1,063	1,077	1,091	1,106	1,120	1,136	1,153	1,170	1,204	1,256	1,341
12	1,025	1,037	1,049	1,070	1,091	1,111	1,131	1,152	1,172	1,196	1,220	1,245	1,294	1,367	1,490
14	1.034	1,050	1,067	1,095	1,122	1,150	1,178	1,206	1,234	1,266	1,300	1,335	1,400	1,500	1,667
16	1,044	1,066	1,087	1,125	1,160	1,197	1,232	1,269	1,305	1,348	1,392	1,437	1,523	1,653	
18	1,056	1,083	1,110	1,157	1,202	1,248	1,294	1,340	1,386	1,442	1,497	1,552	1,662		
20	1,069	1,102	1,136	1,194	1,249	1,307	1,362	1,420	1,475	1,544	1,612	1,681			
22	1,083	1,124	1,165	1,235	1,302	1,372	1,440	1,508	1,577	1,660	1,742				
24	1,099	1,147	1,196	1,278	1,359	1,440	1,523	1,605	1,686						
26	1,116	1,172	1,230	1,326	1,422	1,518	1,614	1,710							
28	1,133	1,200	1,267	1,378	1,489	1,599	1,710								
30	1,153	1,230	1,306	1,435	1,562	1,691									
32	1,175	1,262	1,349	1,495	1,638										
34	1,197	1,297	1,394	1,558	1,722										
36	1,221	1,332	1,441	1,625											
38	1,246	1,370	1,492	1,697											
40	1,272	1,409	1,545	1,772											

TABLEAU VI. POIDS EN DÉCANEWTONS PAR MÈTRE DE FLUIDE POUR DIFFÉRENTS COUPLES PISTON-TIGES

Tiges \ Piston	3/4	7/8	1	1 1/16	1 1/4	1 1/2	1 3/4	1 25/32	2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	3 1/4	3 3/4	4 3/4
1/2	0,155	0,256	0,372	0,436	0,652	0,994	1,398	1,453	1,864	2,392	2,982	-	-	-	-
5/8	0,085	0,186	0,303	0,367	0,582	0,924	1,328	1,383	1,794	2,322	2,912	3,565	5,056	-	-
3/4	-	0,101	0,217	0,281	0,497	0,839	1,243	1,298	1,709	2,237	2,827	3,480	4,971	6,710	10,936
7/8	-	-	0,116	0,180	0,396	0,738	1,442	1,197	1,608	2,136	2,726	3,378	4,870	6,609	10,835
1	-	-	-	0,064	0,279	0,621	1,025	1,080	1,491	2,019	2,610	3,262	4,753	6,492	10,719
1 1/8	-	-	-	-	0,148	0,489	0,894	0,949	1,360	1,887	2,478	3,130	4,621	6,361	10,587

TABLEAU VII. ALLONGEMENT DES TIGES DE POMPAGE.
(Allongement en pouces pour 1 000 m de tiges et densité du fluide égale à 1).

Diamètre tiges \ Diamètre piston	3/4	7/8	1	1 1/16	1 1/4	1 1/2	1 3/4	1 25/32	2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	3 1/4	3 3/4
1/2	2,40	2,03	5,76	6,74	10,08	15,38	21,62	22,47	-	-	-	-	-	-
5/8	0,85	1,85	3,01	3,64	5,78	9,17	13,18	13,72	17,80	23,02	28,88	-	-	-
3/4	-	0,70	1,50	1,95	3,43	5,78	8,57	8,94	11,77	15,42	19,48	23,99	46,25	-
7/8	-	-	0,60	0,91	2,00	3,74	5,78	6,05	8,13	10,80	13,80	17,11	33,45	54,86
1	-	-	-	0,25	1,08	2,41	3,97	4,18	5,78	7,82	10,12	12,64	25,15	41,53
1 1/8	-	-	-	-	0,44	1,50	2,74	2,91	4,16	5,78	7,59	9,60	19,48	32,45

TRAIN DE TIGES COMPOSÉ

Les abaques V.1.a à V.1.g ont été calculés en tenant compte des facteurs énumérés ci-dessous :

1) Les diamètres des pistons selon la standardisation A.P.I. ;
2) Profondeur d'ancrage allant jusqu'à 1800 m ;
3) La densité du fluide pompé a été considérée égale à 1 ;
4) La qualité des aciers pour tiges de pompage de fabrication S.B.S.
   a) N 2 P ;
   b) VM 125 ;
   c) HNC 1,5 h ;
5) Le nombre de coups par minute de 0 à 20 ;
6) Des courses à la tige polie de 24" à 74" ;
7) Facteur de sécurité de 4.

N.B. - Les abaques permettent des extrapolations, mais il est préférable, pour des courses supérieures à 84" ou des nombres de coups mn dépassant 20, de faire un calcul dans chaque cas selon la méthode indiquée dans ce manuel.

Mode d'emploi des abaques

COMPOSITION DU TRAIN DE TIGES

Exemple n° 1

Piston de la pompe : ϕ_p = 1 1/4" course = 34"
Tiges de pompage Φ_t = 5/8"
Coups/mn N coups/mn = 18

Q : Quelle est la cote d'ancrage permissible de la pompe de fond?

R : Avec des tiges de pompage grade N 2 P : 1050 m
VM 125 : 1160 m
HNC 1,5 h : 1740 m

Exemple n° 2

Ayant : Un piston de ϕ 2 1/4"
La pompe ancrée à 1050 m
Une course de 44"
Nombre de coups/mn : 16

Q : Quelle est la composition du train de tiges à employer?

R : Si tiges du grade N 2 P : 31,5 % de 1" + 68,5 % de 7/8" ou
Si tiges du grade VM 125 : 20 % de 1" + 80 % de 7/8" ou
Si tiges du grade HNC 1,5 h : 30 % de 3/4" + 70 % de 5/8".

DÉTERMINATION RAPIDE DU DÉBIT D'UNE POMPE DE FOND

DONNEES	EXEMPLE
Débit recherché : Q m^3/j ;	53 m^3/j
Cote de la pompe L (m) ;	1525 m
Densité du fluide : 1.	

Choix du diamètre du piston et du tubing

A l'aide du tableau II, choisir le diamètre du piston (Ø) correspondant à la profondeur et au débit recherché. Le type de pompe de fond déterminera le diamètre du tubing.

Exemple : Nous prenons Ø = 1 3/4" - le diamètre commun aux colonnes 2 et 3, donc un tubing de 2 3/8".

Détermination de la course en surface et du nombre de coups/mn

On se sert de l'abaque V.3. On prend sur l'abscisse la valeur du débit. Son intersection à la verticale avec la ligne représentant le Ø du piston déjà choisi, donne le point de départ de l'horizontale qu'on doit tracer jusqu'à son intersection avec la droite représentant la plus grande course envisagée. Cette deuxième intersection donne le nombre de coups/mn.

Exemple : Envisageant une course maximale de 74" nous trouvons que N = 16 coups/mn.

Composition du train de tiges

Se servir des abaques V.1.a à V.1.g, selon le Ø du piston.

Exemple : L'abaque V.1.c indique qu'à 16 coups/mn et pour L = 1525 m, il ne faut seulement que des tiges grade HNC 1,5 dans le pourcentage suivant : 41,5 % 3/4" + 58,5 % 5/8".

L'abaque V.4 permet de vérifier si, compte tenu de la profondeur de pompage et de la composition du train de tiges, la vitesse de pompage est bien non-synchrone.

Exemple : Nous trouvons 14,5 coups/mn.

Les abaques V.5.a à V.5.g donnent la capacité de l'unité de surface en fonction du Ø du piston, de la profondeur d'ancrage, de la course et des coups/mn.

Exemple : Dans l'abaque V.5.b, nous trouvons que l'unité de surface de capacité supérieure la plus proche est une : A.P.I. 228.

Le graphique V.2 donne le nombre de HP hydrauliques à prévoir en marche normale en fonction de la profondeur et du débit déjà calculé.

Pour obtenir leur valeur réelle (HP hydraulique) il faut prendre comme profondeur de pompage la cote du niveau du fluide dans l'espace annulaire si celui-ci est appréciable.

Dans la pratique on prévoit des pertes d'énergie par friction (tiges, paraffine, etc.) et les HP prévus pour le moteur de l'unité de surface auront de 2 à 2,5 fois la valeur des HP hydrauliques en marche normale.

Si le puits est partiellement éruptif, les HP demandés au moteur seront inférieurs aux HP hydrauliques donnés par le graphique V.2.

Exemple : Si nous considérons d = 1 dans le graphique V.2, nous trouvons que pour un m^3 il faut 0,172 kW (hydraulique),

donc : 53 x 0,172 kW/m^3 = 9,1 kW.

En pratique nous prenons 9 x 2,5 = 22,5 kW en marche normale.

CHOIX DE L'INSTALLATION DE POMPAGE

Capacité de l'unité de surface. Mode d'emploi des abaques V. 5a à V. 5g

Exemple n° 1

Ayant : Ø du piston = 1 1/4";

La course = 74" à 14 coups/mn;

La cote d'ancrage 1160 m.

Q : Quelle est l'unité de pompage appropriée?

R : Une A.P.I. 80 (80.000 in.lb = 900 m.daN) est l'unité standard la plus proche dans la catégorie supérieure.

Exemple n° 2

Ayant : Une pompe avec un piston de Ø 2 1/4";

La cote d'ancrage à 1400 m ;

Une unité de surface A.P.I. 160.

Q : Quels sont : la course et le nombre de coups/mn maximaux possibles.

R : Course maximale = 44";

Coups/mn max. = 14.

Fig. V.1 a. — COMPOSITION DU TRAIN DE TIGES POUR UNE POMPE DE FOND ÉQUIPÉE AVEC PISTON 1'' 1/4

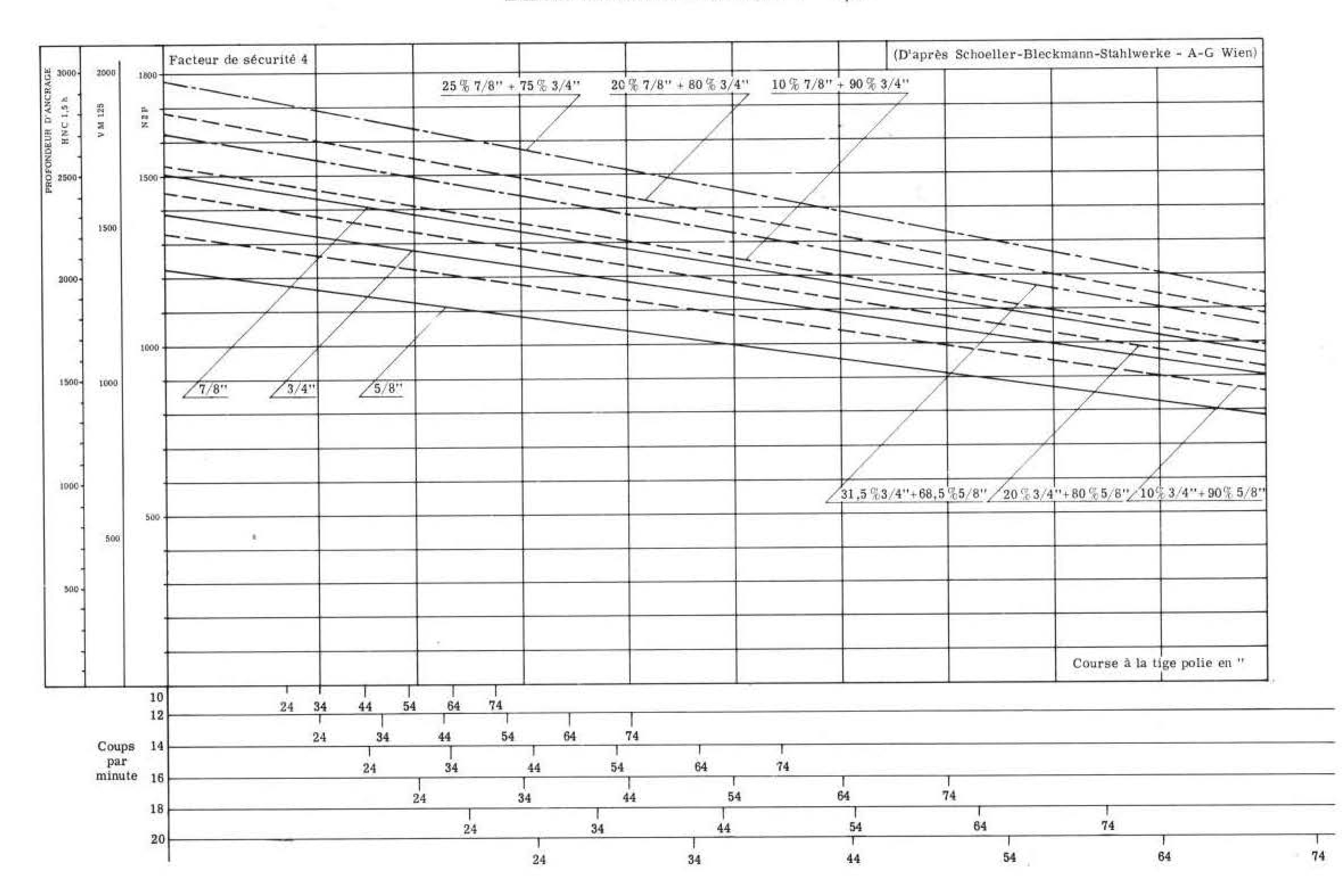


Fig. V.1 b. — COMPOSITION DU TRAIN DE TIGES POUR UNE POMPE DE FOND ÉQUIPÉE AVEC PISTON 1'' 1/2

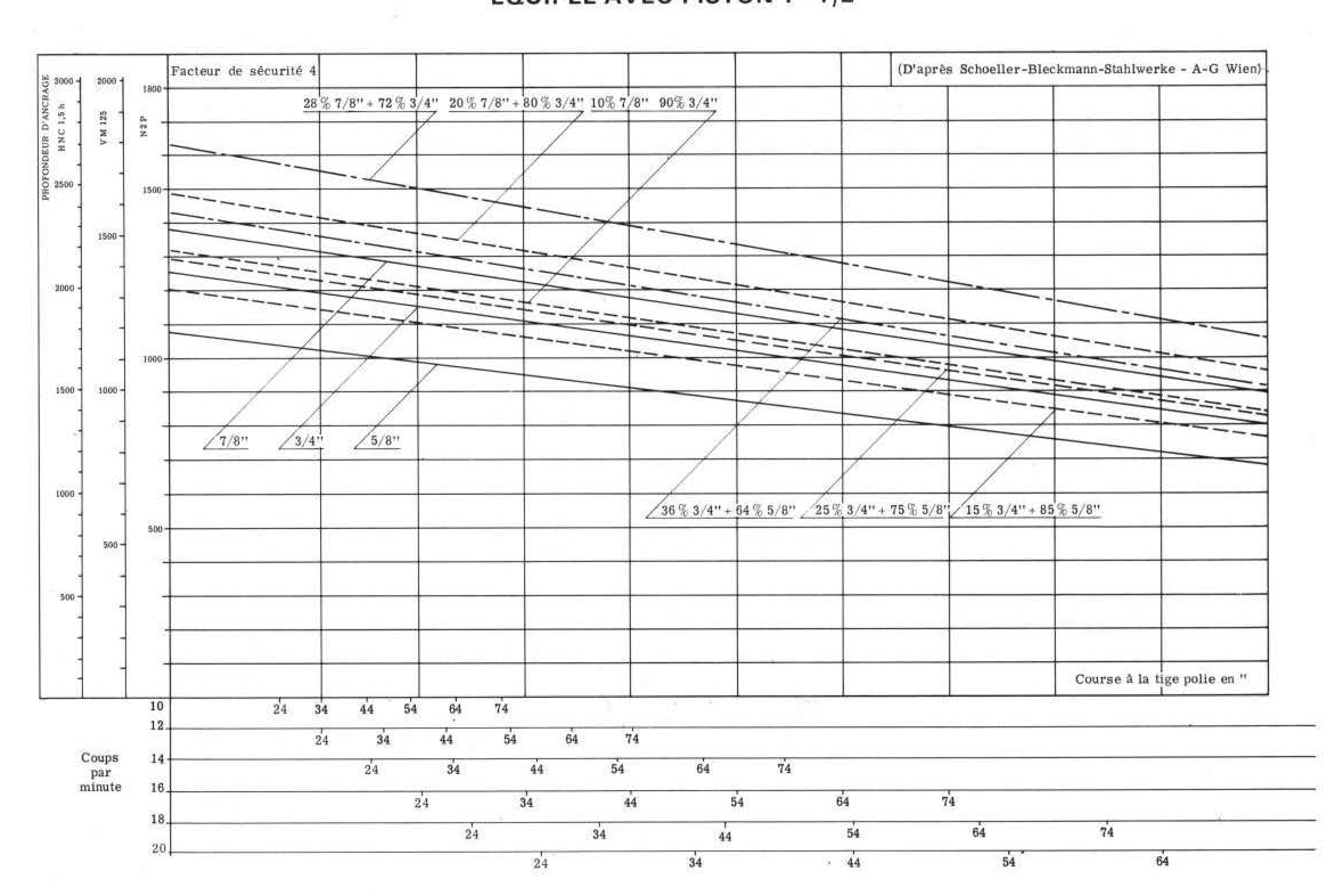


Fig. V.1 c. — COMPOSITION DU TRAIN DE TIGES POUR UNE POMPE DE FOND ÉQUIPÉE AVEC PISTON 1'' 3/4

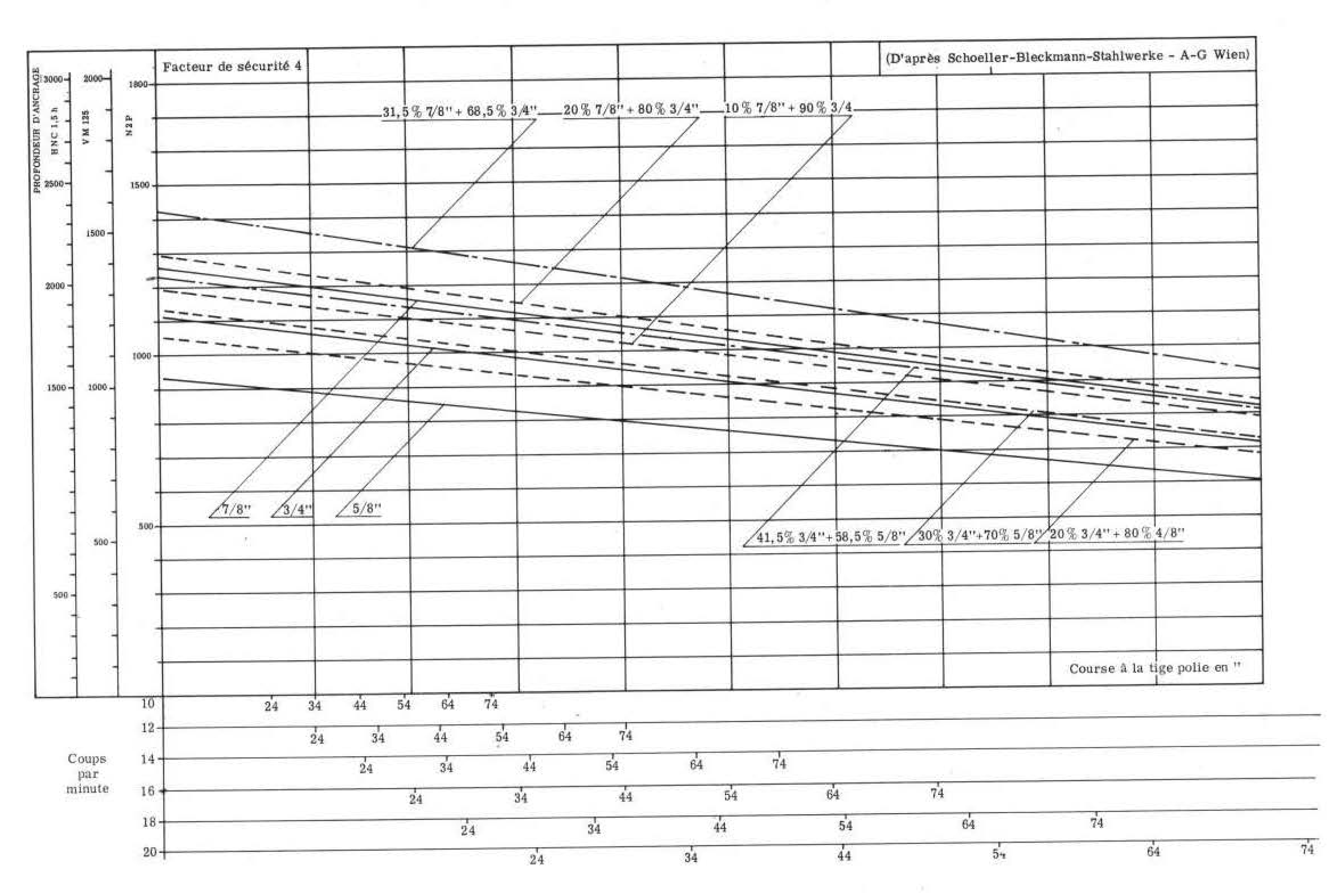


Fig. V.1 d. — COMPOSITION DU TRAIN DE TIGES POUR UNE POMPE DE FOND ÉQUIPÉE AVEC PISTON 2''

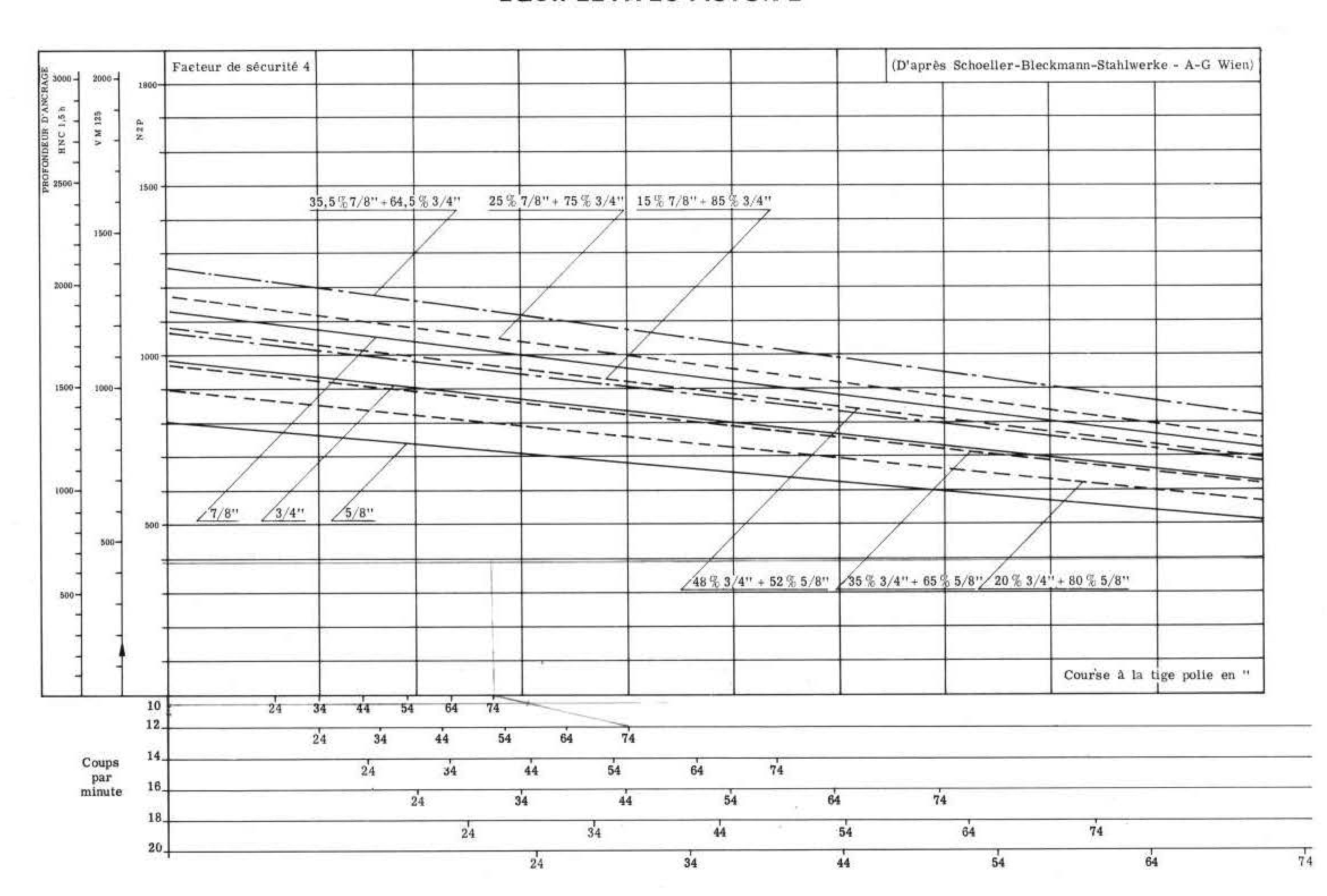


Fig. V.1 e. — COMPOSITION DU TRAIN DE TIGES POUR UNE POMPE DE FOND ÉQUIPÉE AVEC PISTON 2'' 1/4

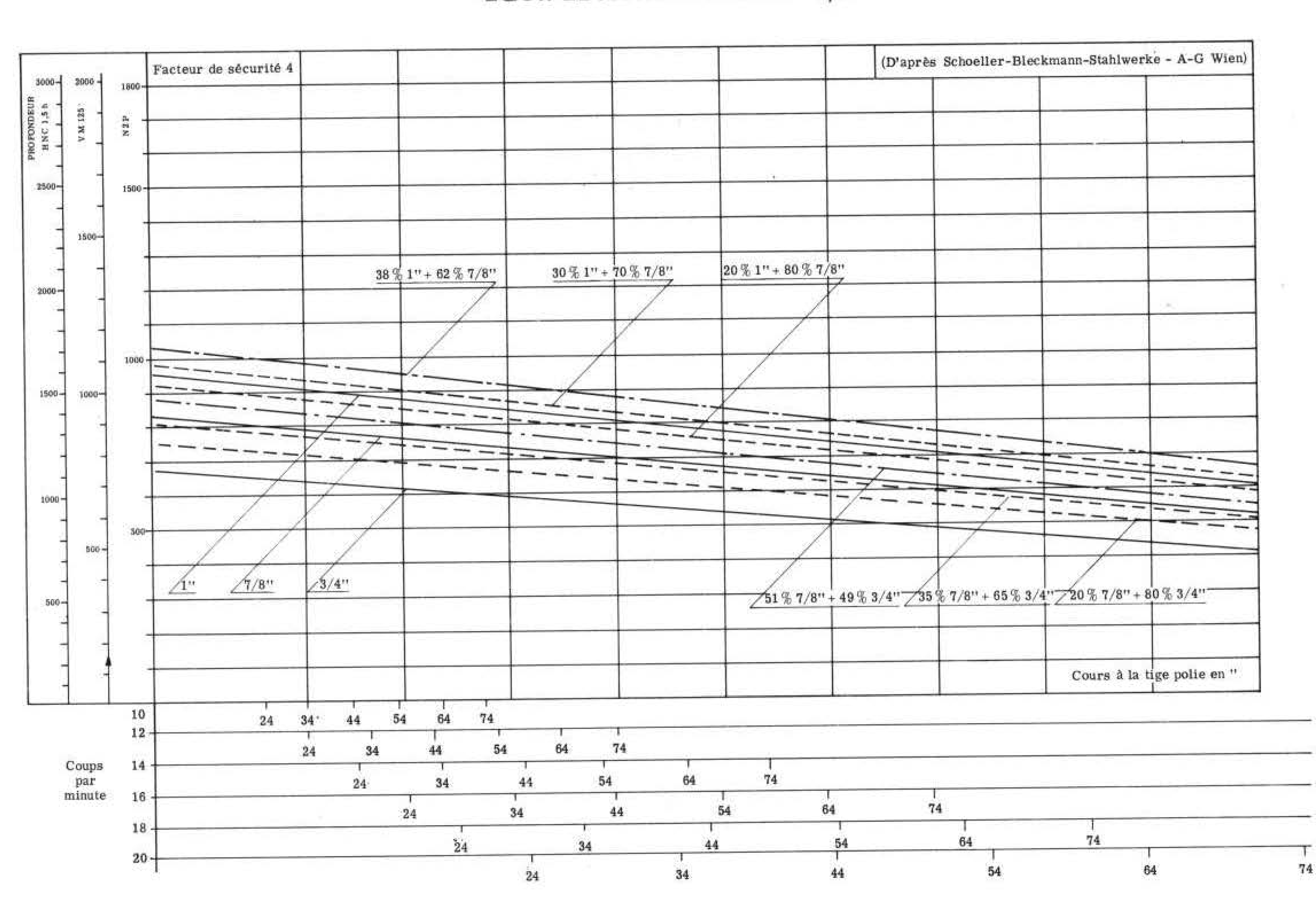


Fig. V.1 f. — COMPOSITION DU TRAIN DE TIGES POUR UNE POMPE DE FOND ÉQUIPÉE AVEC PISTON 2'' 3/4

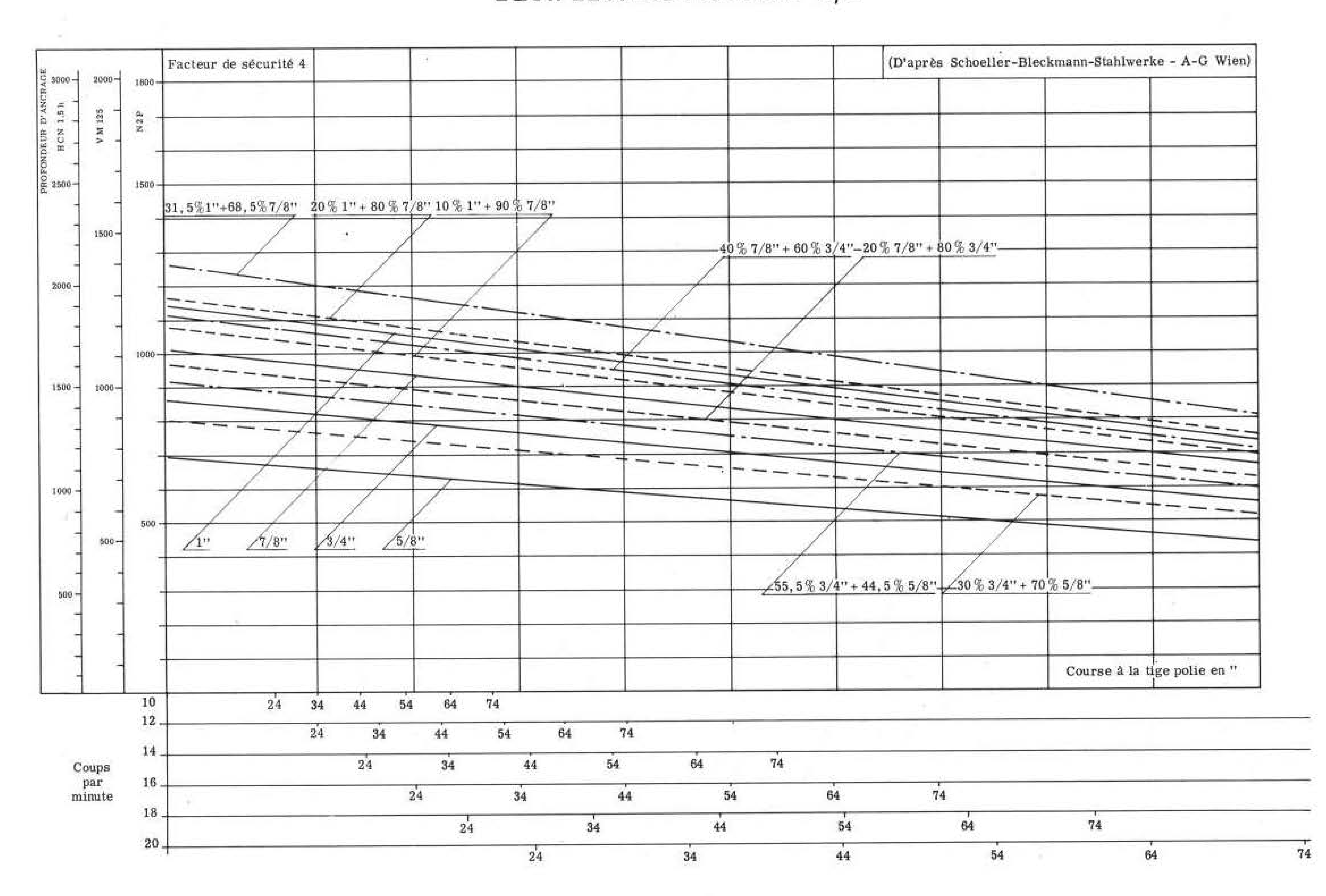


Fig. V.1 g. — COMPOSITION DU TRAIN DE TIGES POUR UNE POMPE DE FOND ÉQUIPÉE AVEC PISTON 3'' 3/4

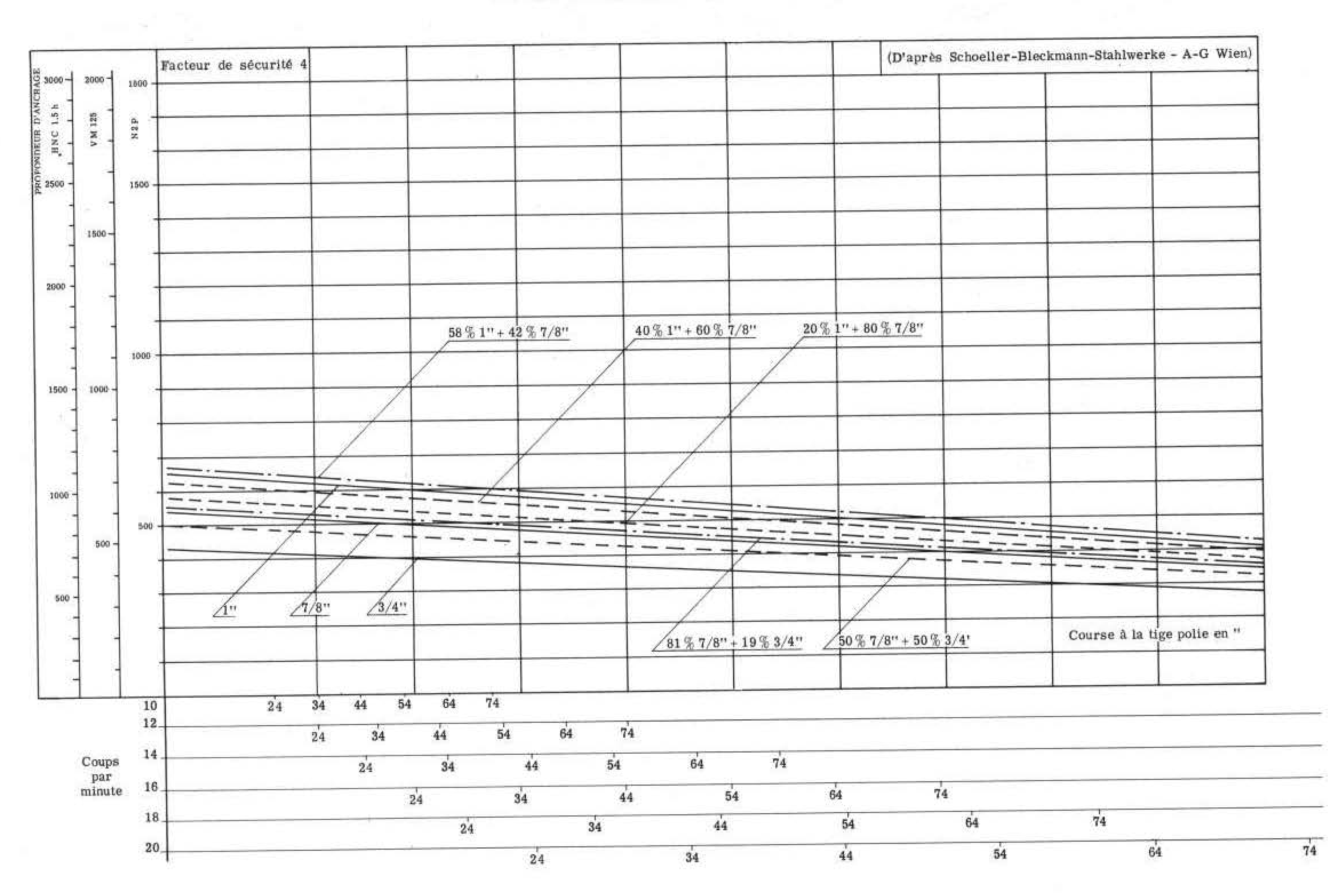


Fig. V.2. — DIAGRAMME DE PUISSANCE NÉCESSAIRE POUR PRODUIRE 1m³ /j A LA PROFONDEUR : L

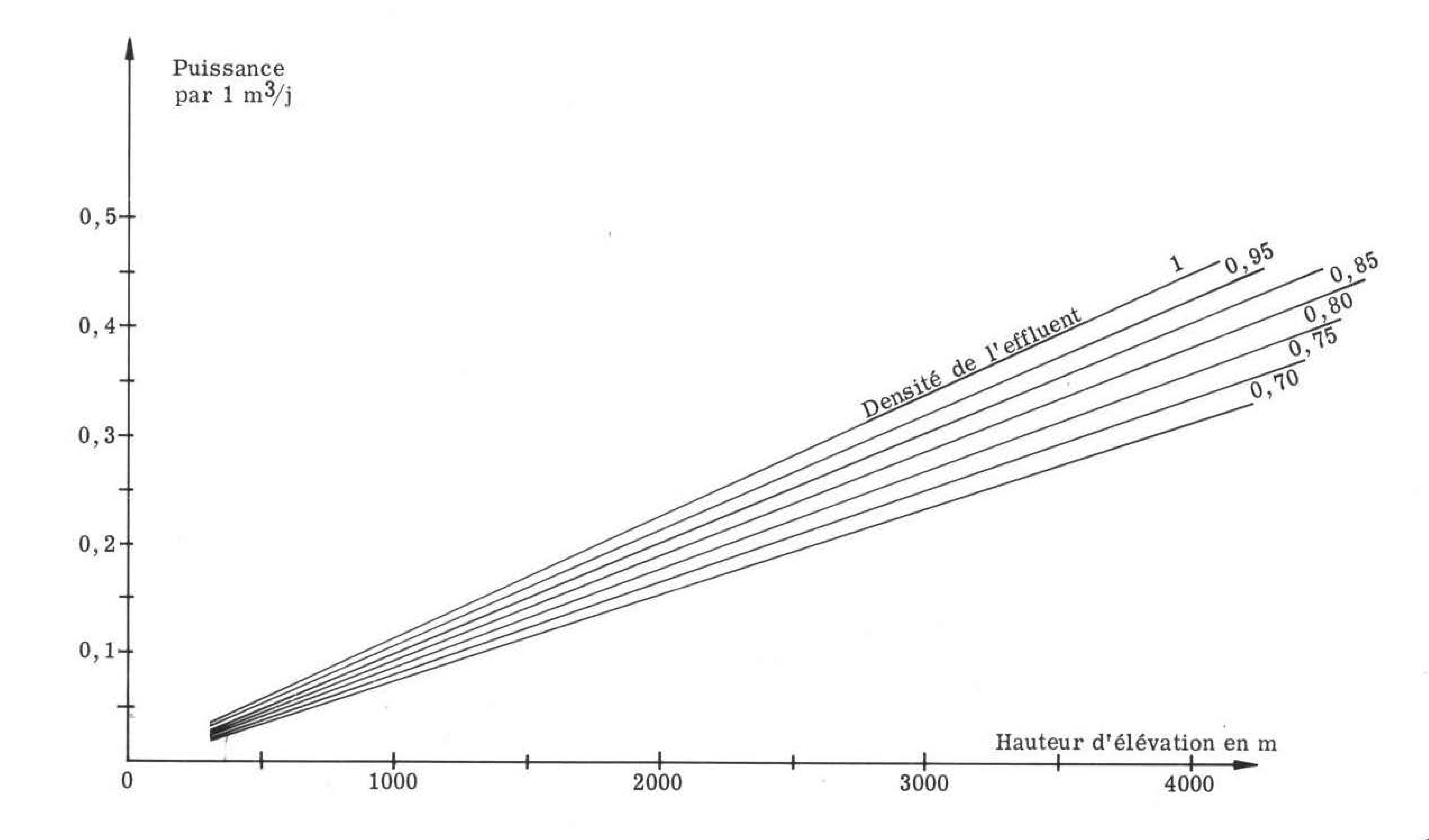


Fig. V.3. — PRODUCTION EN m³ /j POUR UN RENDEMENT VOLUMÉTRIQUE DE 80 %

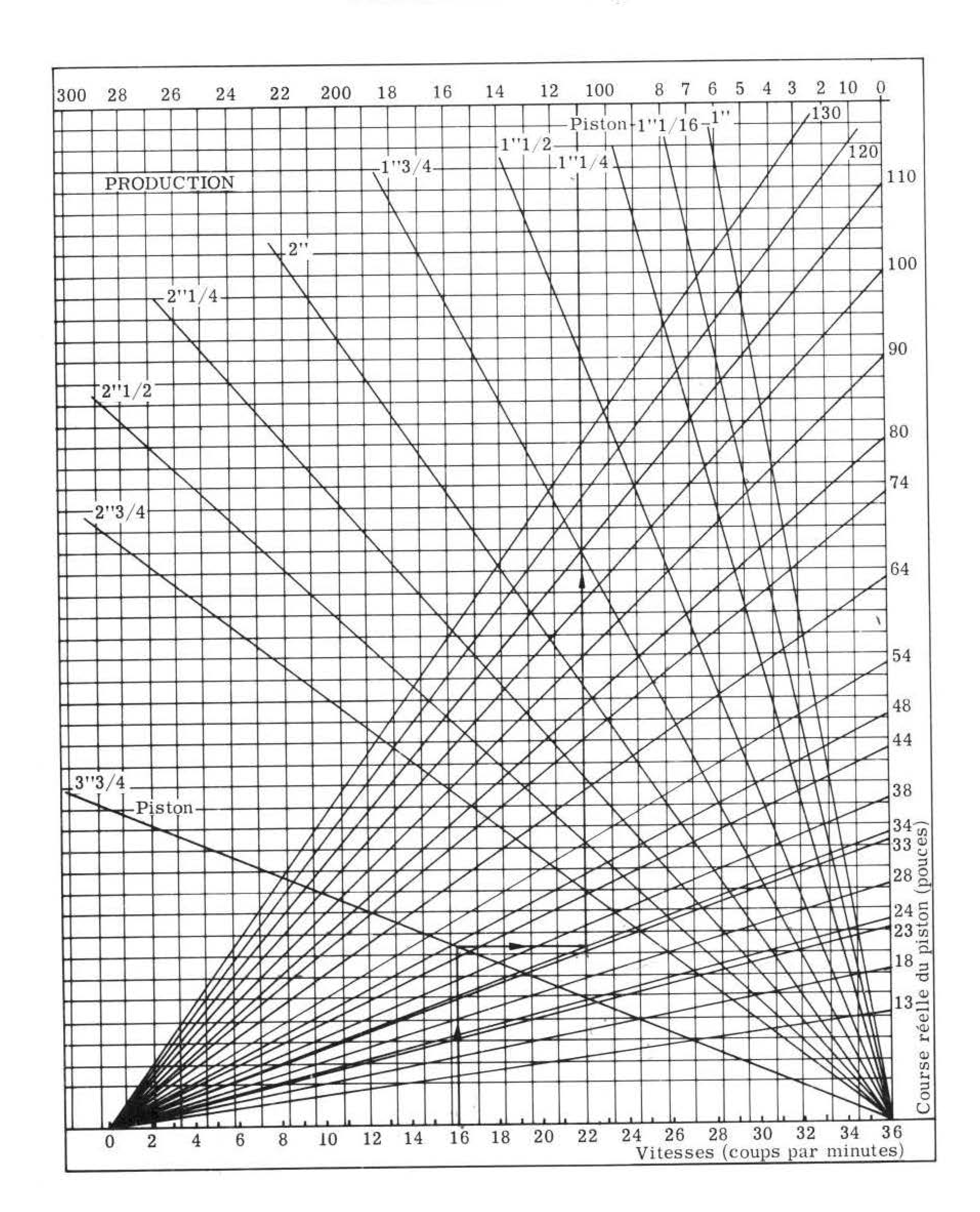
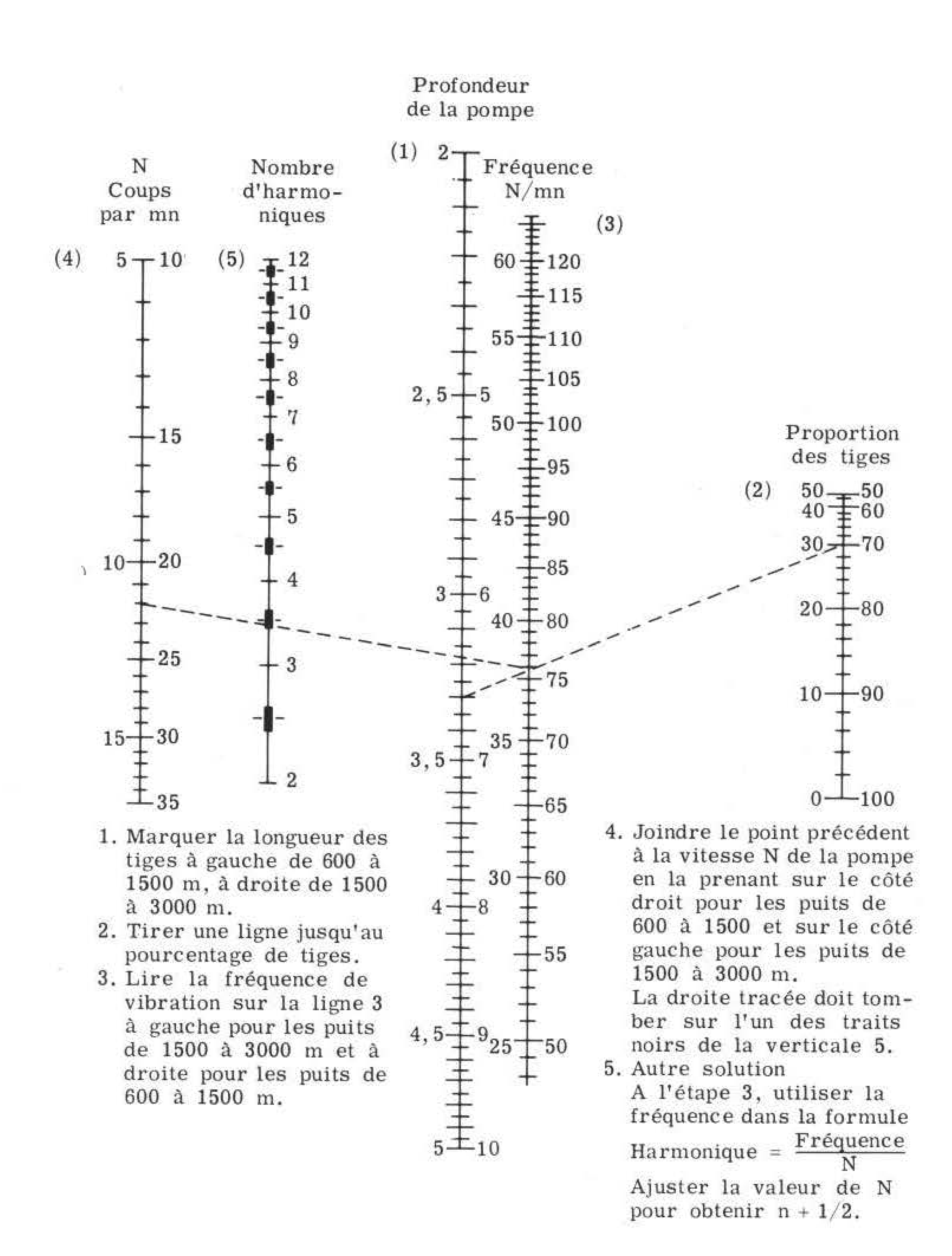


Fig. V.4. — CHOIX DE LA FRÉQUENCE DE POMPAGE. GARNITURE COMPOSÉE DE 600 A 3000 m



1. Marquer la longueur des tiges à gauche de 600 à 1500 m, à droite de 1500 à 3000 m.
2. Tirer une ligne jusqu'au pourcentage de tiges.
3. Lire la fréquence de vibration sur la ligne 3 à gauche pour les puits de 1500 à 3000 m et à droite pour les puits de 600 à 1500 m.
4. Joindre le point précédent à la vitesse N de la pompe en la prenant sur le côté droit pour les puits de 600 à 1500 et sur le côté gauche pour les puits de 1500 à 3000 m.
   La droite tracée doit tomber sur l'un des traits noirs de la verticale 5.
5. Autre solution
   A l'étape 3, utiliser la fréquence dans la formule
   $$\text{Harmonique} = \frac{\text{Fréquence}}{N}$$
   Ajuster la valeur de N pour obtenir n + 1/2.

Fig. V.5 a. — CAPACITÉ DE L'UNITÉ DE SURFACE EN UTILISANT UNE POMPE DE FOND A PISTON 1'' 1/4

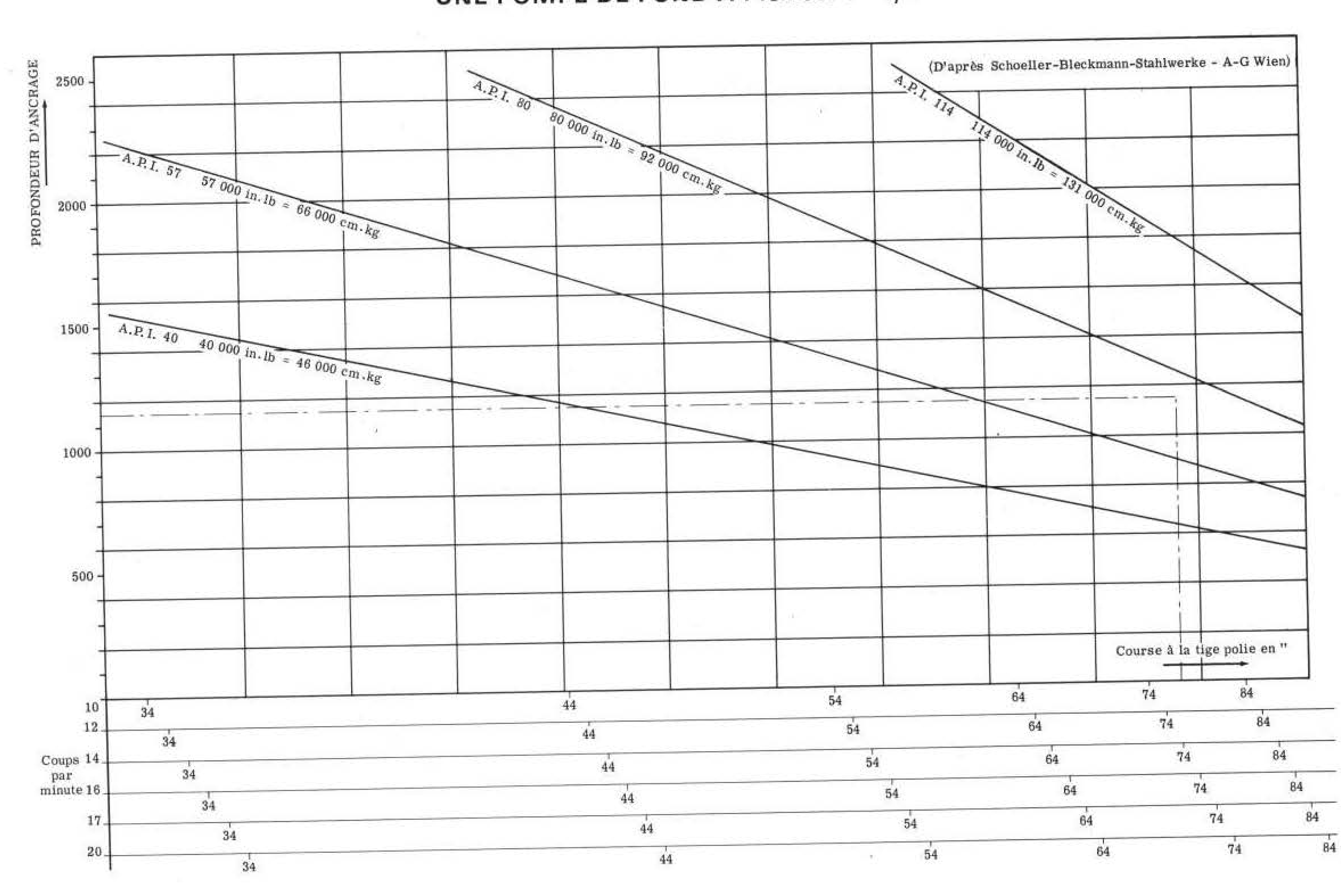


Fig. V.5 b. — CAPACITÉ DE L'UNITÉ DE SURFACE EN UTILISANT UNE POMPE DE FOND A PISTON 1'' 1/2

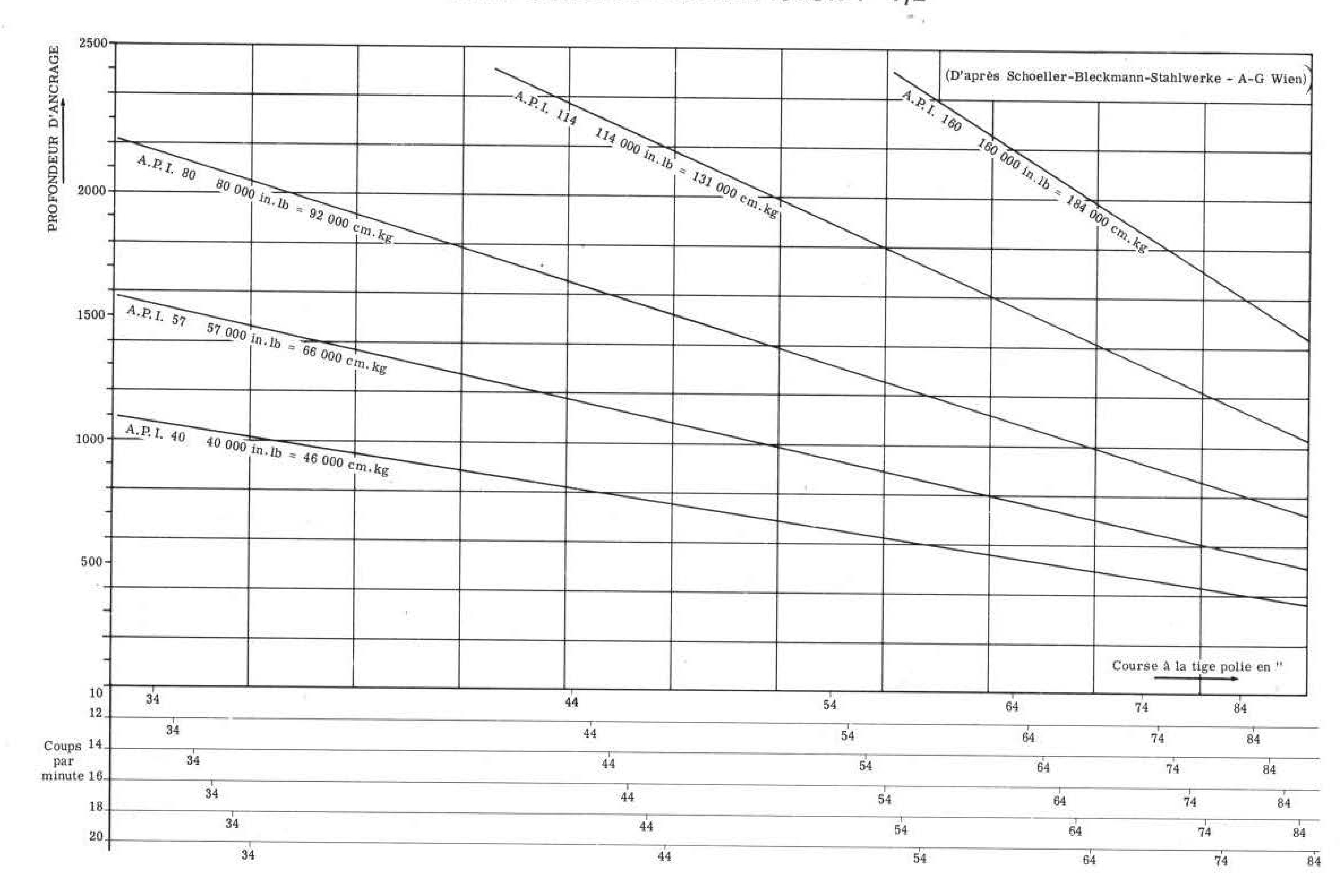


Fig. V.5 c. — CAPACITÉ DE L'UNITÉ DE SURFACE EN UTILISANT UNE POMPE DE FOND A PISTON 1'' 3/4

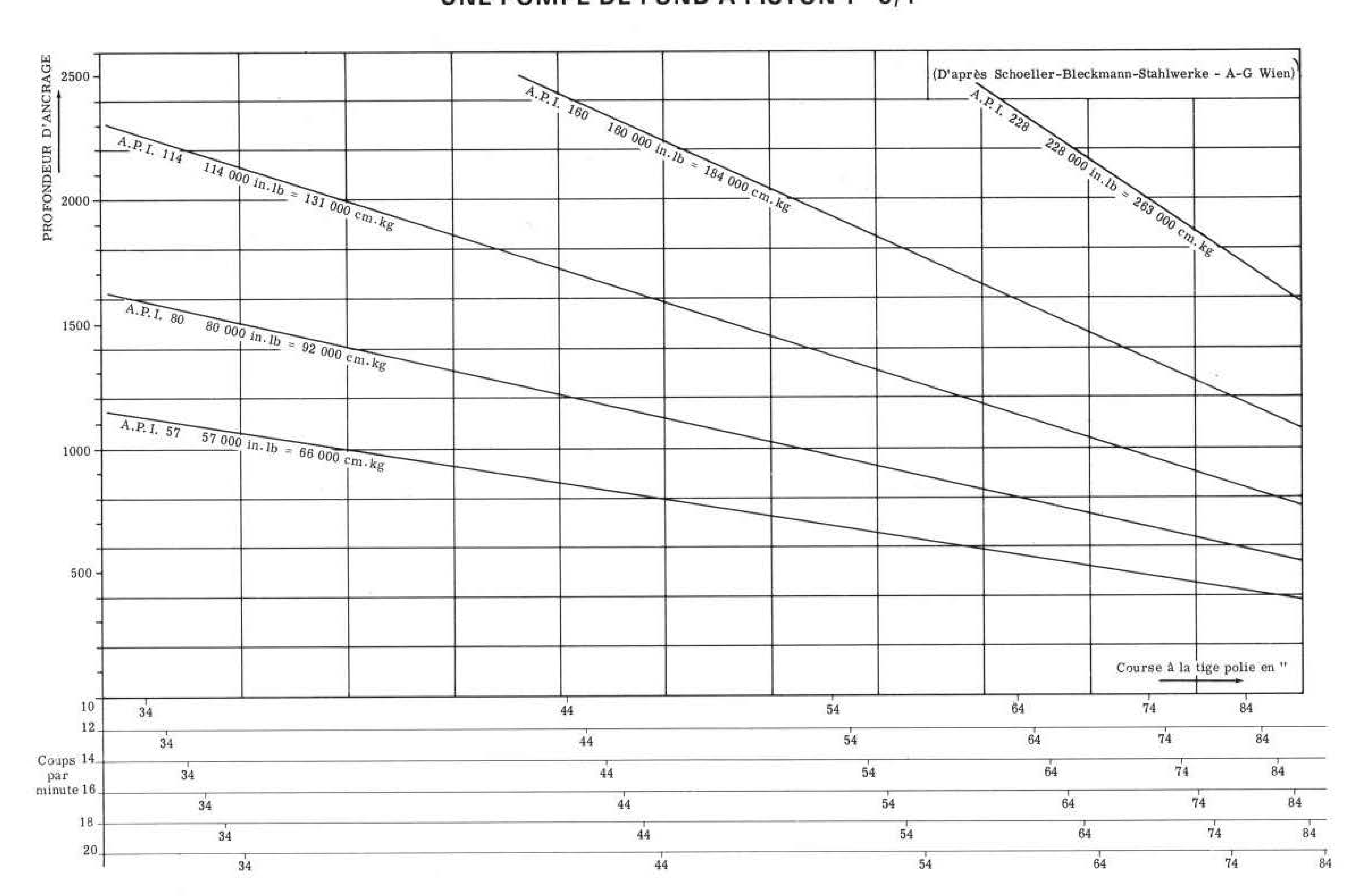


Fig. V.5 d. — CAPACITÉ DE L'UNITÉ DE SURFACE EN UTILISANT UNE POMPE DE FOND A PISTON 2''

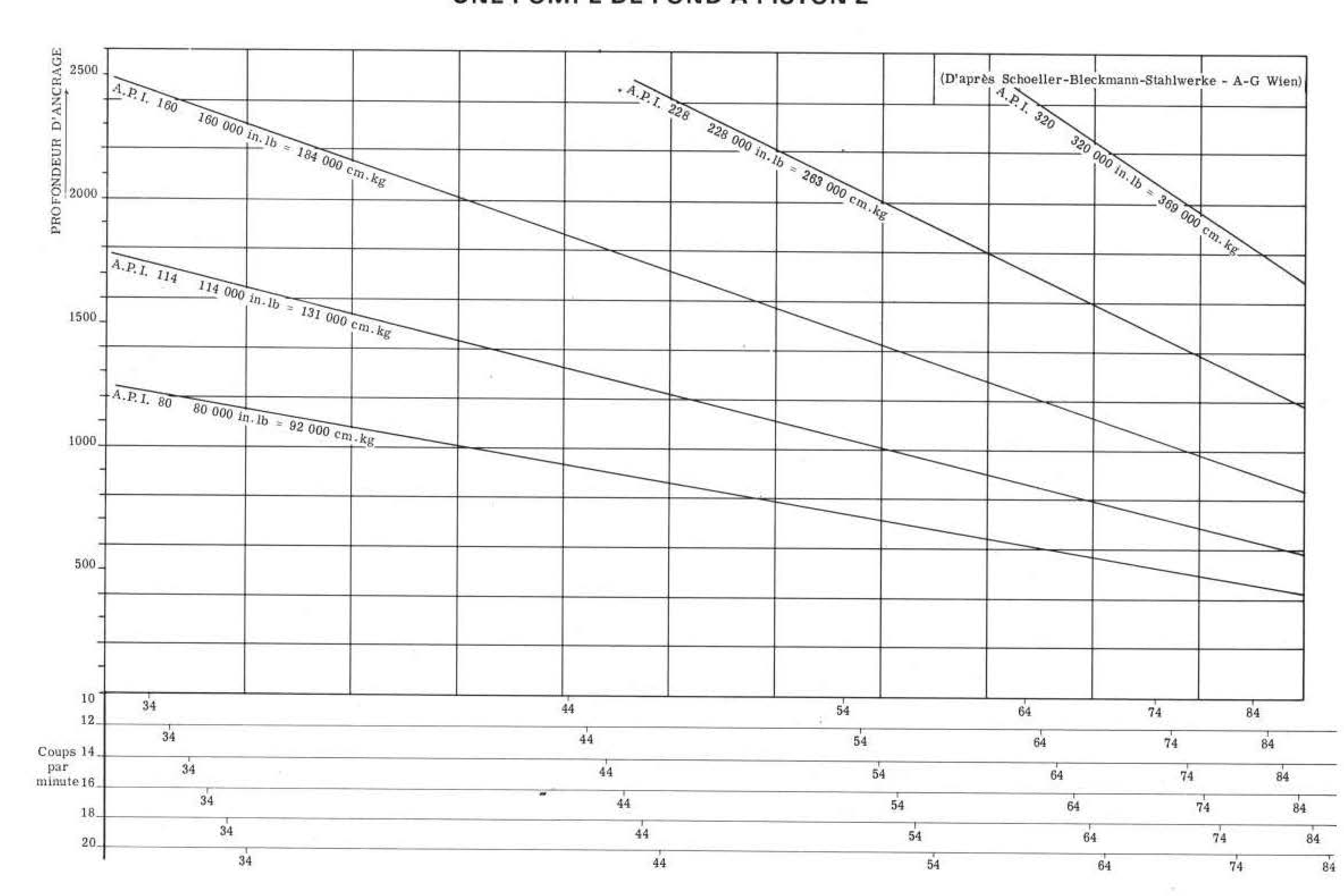
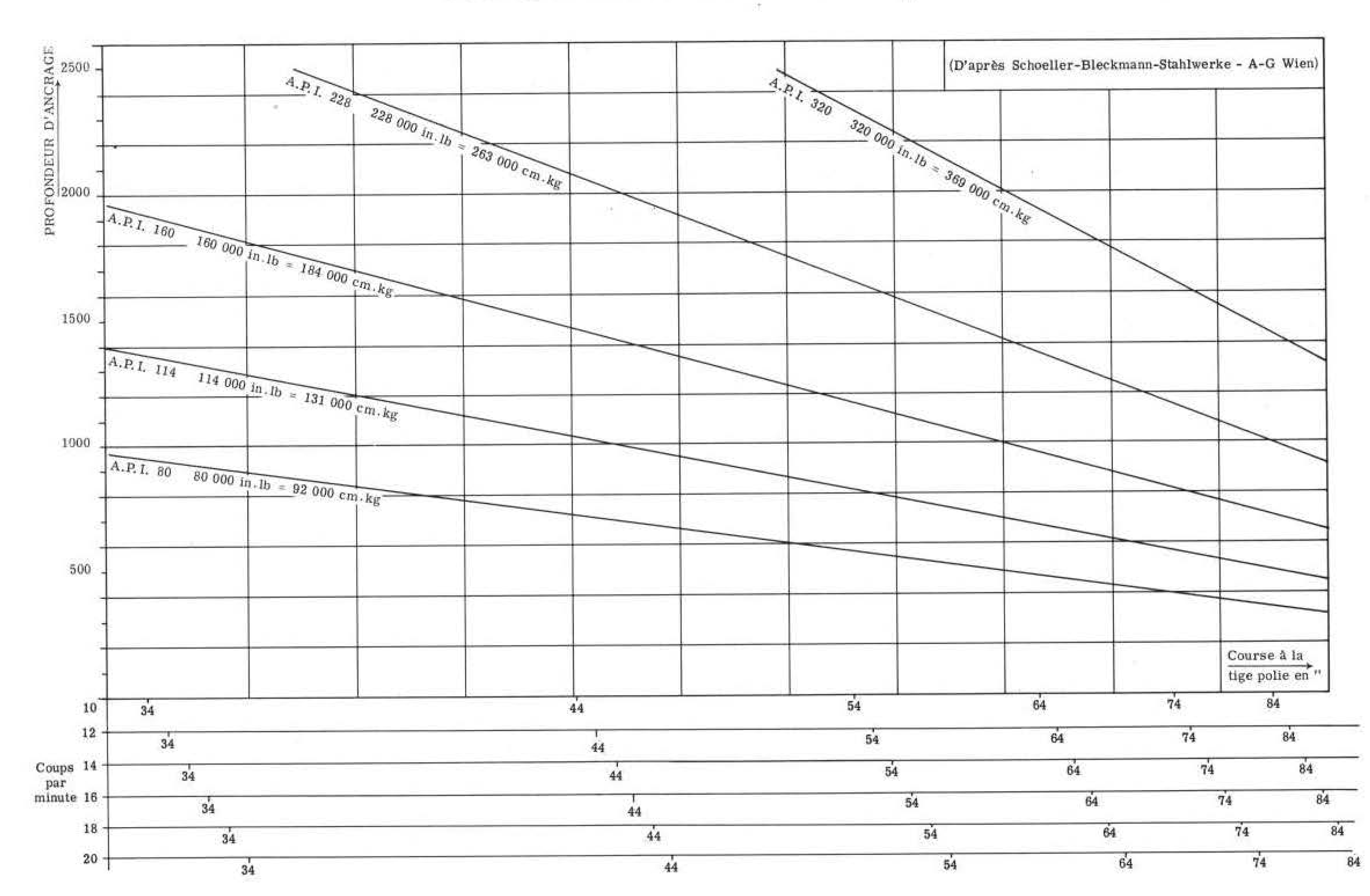


Fig. V.5 e. — CAPACITÉ DE L'UNITÉ DE SURFACE EN UTILISANT UNE POMPE DE FOND A PISTON 2'' 1/4



CHAPITRE VI

chapitre **VI**

PUITS EN GAS-LIFT

SOMMAIRE

DÉTERMINATION D'UNE COLONNE DE GAS-LIFT CONTINU

1. Données nécessaires

Ces données devront être exprimées en unités américaines :

- dimension du tubing ;
- dimension du tubage ;
- débit liquide : Q en bbl/j ;
- WOR ou pourcentage d'eau ;
- GLR de formation en cu. ft/bbl (ne pas confondre avec GLR total)

$$GLR = \frac{GOR}{WOR + 1} \qquad\qquad GLR = GOR \left(\frac{\% \text{ huile}}{100}\right)$$

- densités de l'huile et de l'eau ;
- profondeur totale D en ft ;
- pression statique P_S en psi ;
- index de productivité en bbl/j/psi ;
- densité du gaz ;
- pression de gaz disponible à l'injection P_i en psi ;
- pression tubing requise P_t en psi (dépend des installations de surface) ;
- gradients de température statique et en débit.

2. Méthode de calcul

On suppose que l'on dispose :

a) De courbes de gradients de pression (Fig. VI. 1) applicables au problème à résoudre, soit extraites de publications existantes (Gilbert, Camco, Garrett, etc.), soit calculées (méthode de la balance de matériel).

b) D'un diagramme pression-profondeur si possible sur papier calque et portant les mêmes graduations que celles des courbes de gradient utilisées (pour éviter des reports de courbes point par point).

2.1. OPERATIONS PRELIMINAIRES (fig. VI.2 et VI.3)

2.1.1. Sur le diagramme pression-profondeur porter : la pression tubing requise (P_t), la pression de fond statique (P_s), la pression de fond en débit (P_d), la pression d'injection de gaz (P_i).

Tracer à partir de la pression en débit (P_d) :

2.1.2. La courbe de gradient de pression en débit en-dessous du point d'injection courbe (1) ;

2.1.3. La courbe de gradient de pression en débit en-dessous du point d'injection pour un GLR = 0, courbe (2), la pente de cette droite permet de situer les vannes de décharge (déplacement du fluide mort).

Ces deux courbes se tracent en déplaçant le calque pression-profondeur le long de l'axe des profondeurs, de façon que les courbes de gradient de pression correspondant au GLR de formation ou à un GLR = 0 passent par P_d.

2.1.4. Tracer à partir de la pression statique P_s la courbe de gradient de pression statique (F_s) courbe (3).

Sa pente diffère de celle de (2) par un terme de perte de charge. Son intersection avec l'axe des profondeurs donne le niveau statique.

2.1.5. Tracer à partir de la pression d'injection P_i la droite de gradient de pression relative au gaz d'injection, courbe (4) : $P = P_i + F_g \times L$.

Si F_g, gradient dans le gaz n'est pas connu, déterminer P_{iD}, pression dans le gaz à la profondeur totale D à l'aide de l'abaque de la figure VI.4 ou de la formule :

$$P_{iD} = P_i \, e^{1,88.10^{-2} \frac{GD}{ZT}}$$

G : densité du gaz ;

Z : facteur de compressibilité pour les P et T moyens ;

T : température moyenne du gaz en °R.

2.1.6. Tracer à partir de la pression tubing P_t la courbe de gradient minimal de pression en débit au-dessus du point d'injection, courbe (5). Si le GLR d'injection est limité, tracer la courbe correspondant à ce GLR :

- déplacer le calque pression-profondeur le long de l'axe des profondeurs de l'abaque jusqu'à ce que la courbe correspondant au GLR maxi ou au GLR disponible passe par P_t.

L'intersection des courbes (1) et (5) donne la profondeur minimale de la dernière vanne (la consommation de gaz étant alors maximale).

2.2. CARACTERISTIQUES DE LA PREMIERE VANNE

(Les vannes, dont il est question ici, sont des vannes à soufflet, pour gas-lift intermittent, utilisées en gas-lift continu).

2.2.1. Profondeur L_1 : la plus grande des deux valeurs : niveau statique ou $L_1 = \frac{P_i - P_t}{F_s}$ (profondeur du point d'intersection de la parallèle à (3) menée par P_t et de la parallèle à l'axe des profondeurs menée par P_i on en déduit P_{csg} à L_1 et P_t mini à L_1 sur les courbes (4) et (5).

2.2.2. Quantité de gaz minimale pour obtenir le gradient minimal au-dessus de L_1 :

- sur l'abaque noter le point de la courbe de gradient minimal de pression correspondant à une pression P_t mini à L_1 et le GLR de la courbe de gradient en débit passant par ce point ou situé immédiatement au-dessous soit $GLR_{(1)}$ cette valeur ; la quantité de gaz cherchée est : $Q \times GLR_{(1)}$.

2.2.3. Diamètre de l'orifice à utiliser :

Il est donné par l'abaque de la figure VI.5 en prenant :

- pression amont : P_{csg} à L_1 ;
- pression aval : P_t mini à L_1 ;

cet abaque étant établi pour un gaz de densité 0,65 et une température de 60°F. Si la densité du gaz et la température réelles sont différentes, appliquer au volume de gaz un coefficient de correction donné soit par l'abaque de la figure VI.6, soit par la formule :

$$F = 0,0544 \sqrt{GT}$$

avec G : densité du gaz ;
T : température en °R.

2.3. CARACTERISTIQUES DE LA DEUXIEME VANNE

2.3.1. Profondeur L_2

- A partir de P_t mini à L_1 tracer la parallèle à (2).

La profondeur L_2 de la deuxième vanne est la profondeur du point de cette droite où la pression est inférieure de 50 psi à la pression casing courbe (4). On suppose donc une perte de charge de 50 psi à travers la deuxième vanne. P_t mini à L_2 est la pression au point de profondeur L_2 sur la courbe de gradient minimal de pression (5).

Lorsque l'injection va se réaliser à la deuxième vanne, la pression tubing à la profondeur L_1 va remonter jusqu'à P_t maxi à L_1 déterminée de la façon suivante :

- Déplacer le calque sur l'abaque le long de l'axe des profondeurs, de façon que P_t se trouve sur la courbe de gradient minimal de l'abaque, et tracer la courbe de gradient en débit passant par P_t et L_2 ; P_{csg} à L_2 - 50 psi. P_t maxi à L_1 est la pression à la profondeur L_1 sur cette courbe.

Pour que la première vanne soit fermée pendant l'injection par la deuxième vanne, la pression casing doit baisser d'une valeur appelée "Effet tubing" égale à :

$$TE_{(1)} = (P_t \text{ maxi à } L_1 - P_t \text{ mini à } L_1) \times K_1$$

K_1 étant le facteur d'effet tubing relatif à la première vanne :

$$K_1 = \frac{A/B}{1 - A/B}$$

A : aire de l'orifice;
B : aire du soufflet.

Les valeurs de K sont données dans les catalogues des constructeurs.

2.3.2. Quantité de gaz minimale pour obtenir le gradient minimal au-dessus de L_2 :

- sur l'abaque noter le point de la courbe de gradient minimal correspondant à une pression P_t mini à L_2 et le GLR de la courbe de gradient en débit passant par ce point ou située immédiatement au-dessous, soit $GLR_{(2)}$ cette valeur ; la quantité de gaz cherchée est :

$$Q \times GLR_{(2)}$$

2.3.3. Diamètre de l'orifice à utiliser

Il est donné par l'abaque de la figure VI. 5, en prenant :

- pression amont : P_{csg} à L_2 - $TE_{(1)}$;
- pression aval : P_t mini à L_2,

après avoir éventuellement corrigé la quantité de gaz pour tenir compte de la densité et de la température réelle.

2.4. CARACTERISTIQUES DE LA TROISIEME VANNE

2.4.1. Profondeur L_3 :

- à partir de P_t mini à L_2 tracer la parallèle à (2).

La profondeur de la troisième vanne est la profondeur du point de cette droite où la pression est inférieure de 50 psi + TE_1 à la pression casing courbe (4). P_t mini à L_3 est la pression au point de profondeur L_3 sur la courbe de gradient minimal de pression (5).

Lorsque l'injection va se réaliser à la troisième vanne, la pression tubing à L_2 va remonter jusqu'à P_t maxi à L_2 déterminée de la façon suivante :

- déplacer le calque sur l'abaque le long de l'axe des profondeurs, de façon que P_t se trouve sur la courbe de gradient minimal de l'abaque, et tracer la courbe de gradient en débit passant par P_t et L_3 : P_{csg} à L_3 - (50 psi + $TE_{(1)}$).

P_t maxi à L_2 est la pression à la profondeur L_2 sur cette courbe.

- pour que la deuxième vanne soit fermée pendant l'injection par la deuxième vanne, la pression casing doit baisser de la valeur :

$$TE_{(2)} = (P_t \text{ maxi à } L_2 - P_t \text{ mini à } L_2) \times K_2$$

Le calcul de K_2 est le même que celui de K_1.

2.4.2. Quantité de gaz minimale pour obtenir le gradient minimal au-dessus de L_3 :

opérer comme au paragraphe 2.3.2.

2.4.3. Diamètre de l'orifice à utiliser :

opérer comme au paragraphe 2.3.3 avec :

- pression amont : P_{csg} à L_3 - (TE_1 + TE_2) ;
- pression aval : P_t mini à L_3.

2.5. CARACTERISTIQUES DES VANNES SUIVANTES

Poursuivre les mêmes opérations qu'aux paragraphes précédents jusqu'à ce que soit atteinte, au moins, la profondeur d'injection obtenue en 2.1.5.

Si la pression de gaz disponible est suffisante, pour réduire la consommation de gaz, poursuivre jusqu'à ce que soit atteinte une profondeur au moins égale à celle de l'intersection de la courbe de gradient en débit au-dessous du point d'injection et de la droite :

- pression d'injection - (50 psi + $\sum$TE).

3. Pressions nominales de réglage des vannes

(pression de tarage en surface à 60°F avec P_{tubing} = 0)

$$P_n = \frac{P_{io} + K\ P_t \text{ mini}}{C_t}$$

ou : $$P_{io} = P_{csg} \text{ à } L_n - \sum_{J=0}^{J=n-1} TE_J$$

$$P_t \text{ mini} = P_t \text{ mini à } L_n$$

$$C_t = \frac{T}{520}$$

T : température absolue en °Rankine (°R), à L_n.

ANNEXE

FEUILLES DE CALCUL TYPE AVEC UN EXEMPLE

Calcul des colonnes de gas-lift

DONNEES DU PROBLEME

Champ Puits Date

Débit de liquide Q : 125 m^3/j x 6,29 = 786 bbl/j ≈ 800

WOR 0 GLR formation : 55 m^3/m^3 x 5,615 ≠ 300 cu.ft/bbl

Pression statique : 93 bars x 14,504 = 1350 psi à 1510 m x 3,281 ≠ 5000 ft

Profondeur totale : 1510 m x 3,281 = 5000 ft. IP: 12,4 m^3/j/bar x 0,434 = 5,4 bbl/j/psi

Pression de gaz disponible à l'injection : 63,8 bars x 14,504 = 925 psi

Densité du gaz : 0,65

Densité de l'huile : 0,82 $F_S = \frac{d}{10}$ = 0,0804 bar/m x 4,421 = 0,355 psi/ft

Densité de l'eau $F_S = \frac{d}{10}$ = bar/m x 4,421 = psi/ft

Pression tubing requise : 10,3 bars x 14,504 = 150 psi

Dimension du tubing : 2"3/8 EU Dimension du tubage : 7"

Gradients de pression utilisés : Camco Type de vannes utilisées : Camco CK.

RESOLUTION (fig. VI. 7)

Opérations préliminaires

Pression statique : 1350 psi
ΔP : 150 psi
Pression en débit : 1200 psi

$$\Delta P = \frac{Q}{IP} = \frac{800}{5,4} = 150 \text{ psi}$$

Sur le diagramme pression-profondeur marquer : la pression statique 1350 psi, la pression en débit 1200 psi à la profondeur 5000 ft, la pression tubing requise 150 psi, la pression d'injection disponible 925 psi.

Tracer :

- les courbes de gradient en débit à GLR nul et GLR de formation au-dessous du point d'injection en partant de la pression en débit 1200 psi ;

- la courbe de gradient statique en partant de la pression statique 1350 psi ;

- la courbe de gradient de pression casing relative au gaz d'injection avec une densité de 0,65, un facteur de compressibilité de 0,9, une température moyenne de 150°F + 460 = 610°R, 925 psi en surface correspondent à 1030 psi à 5000 ft ;

- la courbe de gradient minimal en débit au-dessus du point d'injection en partant de la pression tubing requise 150 psi.

Remarques :

TABLEAU RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES DES VANNES

n°	Type	Orifice		Profondeur		P_{csg} à L_n	TE	ΣTE	P_{io}= P_{csg} à L_n -ΣTE	P_t mini à L_n	Température		K_n x P_t mini	$P_n = \frac{P_{io}+K_n P_t}{C_t}$		Remarques
		(ø)	K_n	(m)	(ft)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(°F)	C_t		(psi)	(kg/cm2)	
1	CK	$\frac{3}{16}$	0,043	665	2180	970	5		970	460	120	1,115	19,78	889	62,23	Température statique
2	CK	$\frac{1}{4}$	0,078	1067	3500	1000	10	5	995	680	160	1,19	49,92	872	61,04	Température statique
3	CK	$\frac{1}{4}$	0,078	1280	4200	1010		15	995	740	190	1,25	57,72	842	58,94	Température en débit

VANNE N° 1

$$L_1 = \frac{\text{Pression du gaz en surface - Pression tubing requise}}{F_s} = \frac{775}{0,355} = 2180 \text{ ft} \times 0,3048 = 665 \text{ m}$$

P_t mini à L_1 = 460 psi obtenue avec un GLR de 600 cu. ft/bbl

Débit de gaz standard : Q x GLR = 800 x 600 = 480 Mcu. ft/j

Coefficient de correction : 1,055 pour d = 0,65 et T_1 = 50°C = 120°F

Débit de gaz à L_1 = débit de gaz standard x coefficient de correction = 480 x 1,055 = 506 Mcu.ft/j

Pression amont : P_{csg} à L_1 = 970 psi
Pression aval : P_t mini à L_1 = 460 psi
] Débit 506 Mcu. ft/j ⟶ Orifice $\frac{10''}{64}$

On prendra un orifice de $\frac{12''}{64}$ ou $\frac{3''}{16}$, vanne type CK K_1 = 0,043

VANNE N° 2

Tracer à partir de P_t mini à L_1 = 460 psi la parallèle au gradient à GLR nul.

La profondeur L_2 de la vanne n° 2 se situe au point où la pression tubing est inférieure à la pression casing de 50 psi $+\sum_o^{n-2} TE$

$$\sum_o^{n-2} TE = 0 \text{ psi} \qquad 50 \text{ psi} + \sum_o^{n-2} TE = 50 \text{ psi}$$

$$L_2 = 3500 \text{ ft x } 0,3048 = 1067 \text{ m}$$

P_t maxi à L_1 (L_n - 1) = 560 psi obtenue pour un GLR de 250 cu. ft/bbl

$TE_{n-1} = TE_1 = K_1$ (P_t maxi - P_t mini) à L_1 (L_{n-1}) = 0,043 (560 - 460) $\neq$ 5 psi

$$\sum_o^{n-1} TE = 5 \text{ psi}$$

P_t mini à L_2 (L_n) = 640 psi obtenue pour un GLR de 800 cu. ft/bbl

Débit de gaz standard : Q x GLR = 800 x 800 = 640 Mcu. ft/j

Coefficient de correction : 1,09 pour d = 0,65 et $T_n = T_2$ = 70°C = 160°F

Débit de gaz à L_2 (L_n) = débit de gaz standard x coefficient de correction

= 640 x 1,09 = 698 Mcu. ft/j

Pression amont : P_{csg} à L_2 $(L_n) - \sum_o^{n-1} TE$ = 1000 - 5 = 995 psi

Pression aval : P_t mini à L_2 (L_n) = 640 psi

Pression amont : 995 psi
Pression aval : 640 psi] débit 698 Mcu. ft/j ⟶ orifice $\frac{12''}{64}$

On prendra un orifice de $\frac{16''}{64}$ ou $\frac{1''}{4}$ vanne type CK Kn = 0,078

VANNE N° 3

Tracer à partir de P_t mini à L_{n-1} = 640 psi la parallèle au gradient à GLR nul.

La profondeur L_3 de la vanne n° 3 se situe au point où la pression tubing est inférieure à la pression casing de 50 psi + $\sum_o^{n-2}$ TE

$\sum_o^{n-2}$ TE = 5 psi   50 psi + $\sum_o^{n-2}$ TE = 55 psi

L_3 = 4200 ft x 0,3048 = 1280 m (1)

P_t maxi à L_2 (L_{n-1}) = 780 psi obtenue pour un GLR de 350 cu. ft/bbl

$TE_{n-1} = TE_2 = K_2$ (P_t maxi - P_t mini) à L_2 (L_{n-1}) = 0,078 (780 - 680) = 10 psi

$$\sum_o^{n-1} TE = 15 \text{ psi}$$

P_t mini à L_3 (L_n) = 740 psi obtenue pour un GLR de 1000 cu. ft/bbl

Débit de gaz standard : Q x GLR = 800 x 1000 = 800 Mcu. ft/j

Coefficient de correction : 1,12 pour d = 0,65 et $T_n = T_3$ = 87°C = 190°F

Débit de gaz à L_3 (L_n) = débit de gaz standard x coefficient de correction

= 800 x 1,12 = 896 Mcu. ft/j

Pression amont : P_{csg} à L_3 (L_n) - $\sum_o^{n-1}$ TE = 1010 - 15 = 995 psi

Pression aval : P_t mini à L_3 (L_n) = 680 psi

Pression amont : 995 psi
Pression aval : 680 psi
] débit = 896 Mcu. ft/j ⟶ orifice $\frac{14''}{64}$

On prendra un orifice de $\frac{16''}{64}$ ou $\frac{1''}{4}$ vanne type CK K_n = 0,078

(1) Remarques :

La parallèle au gradient à GLR = 0 tracée à partir de P_t mini à L_2 étant en dessous de la courbe de gradient en débit au-dessous du point d'injection, la troisième vanne sera la dernière vanne et sa profondeur sera l'intersection de la courbe de gradient en débit au-dessous du point d'injection et de la droite pression casing - 55 psi - Soit L3 = 4200'. Dans ces conditions on prendra P_t mini à L_2 = 680 psi et non pas 640 psi et P_t mini à L_3 = 740 psi.

Fig. VI.1. — EXEMPLE DE COURBES DE GRADIENTS DE PRESSION (HUILE ANHYDRE)

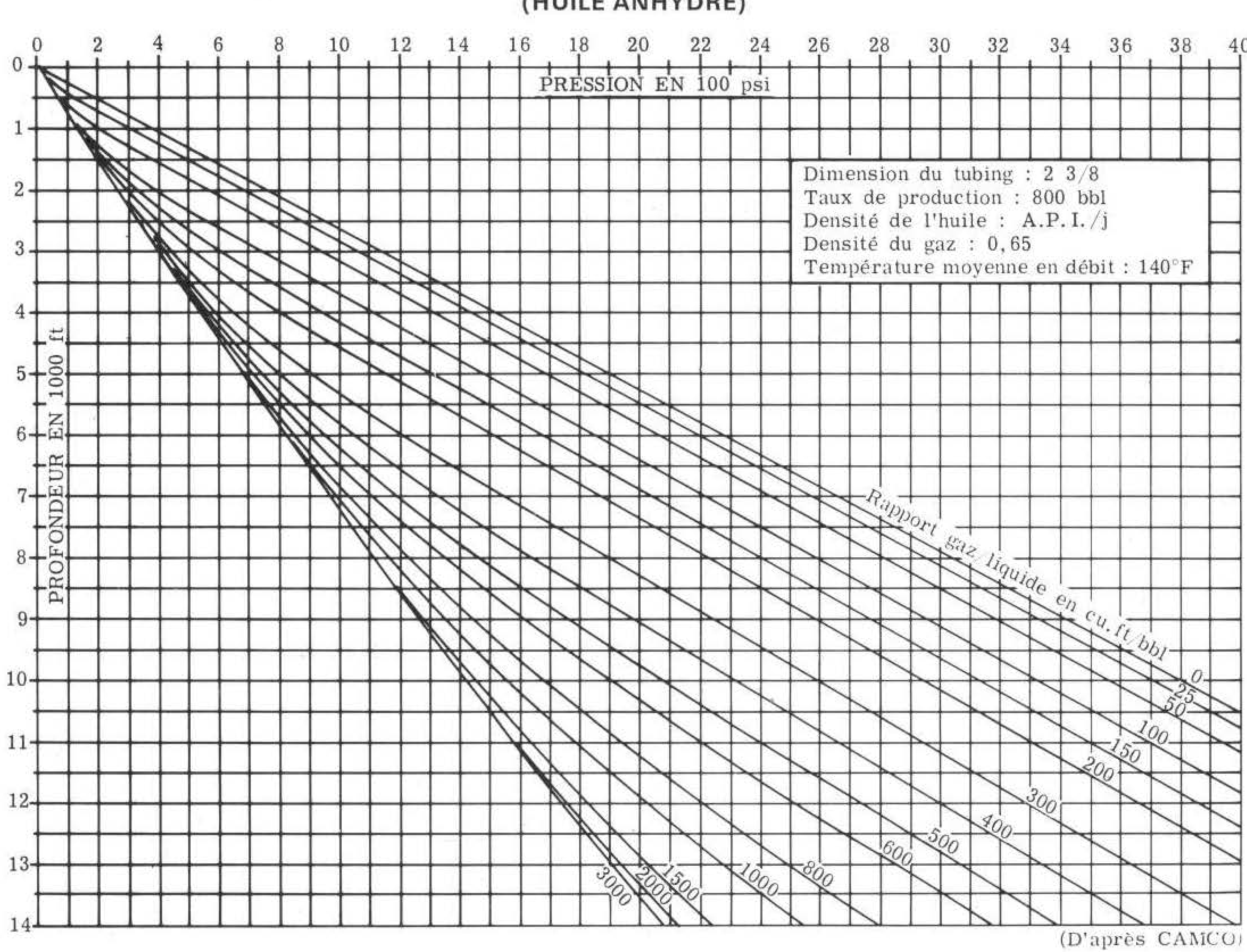


Fig. VI.2. — CONSTRUCTION PERMETTANT DE DÉTERMINER LA PROFONDEUR MINIMALE DE LA DERNIÈRE VANNE

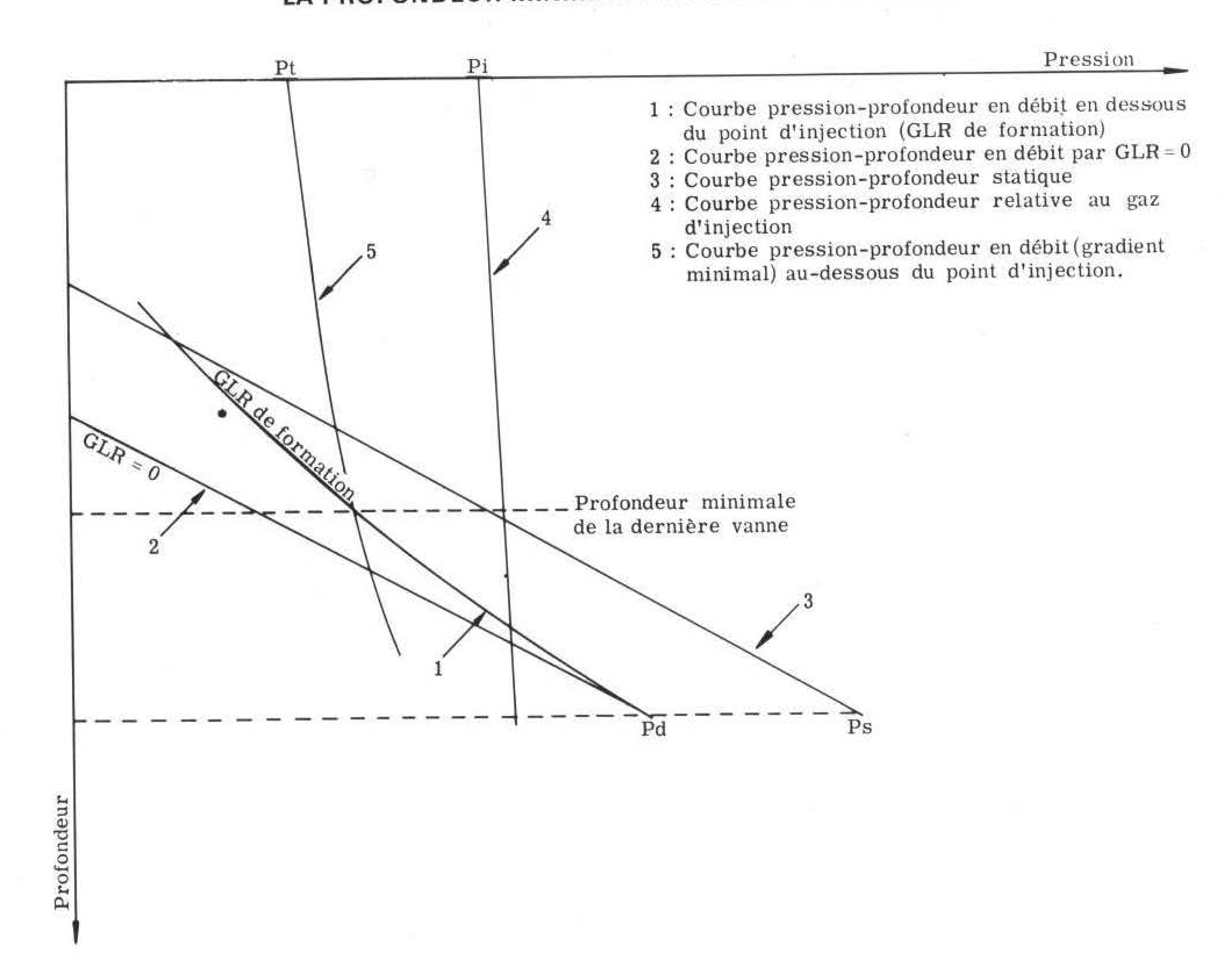


Fig. VI.3. — CONSTRUCTION GRAPHIQUE POUR LA DÉTERMINATION DES POSITIONS DES DIFFÉRENTES VANNES

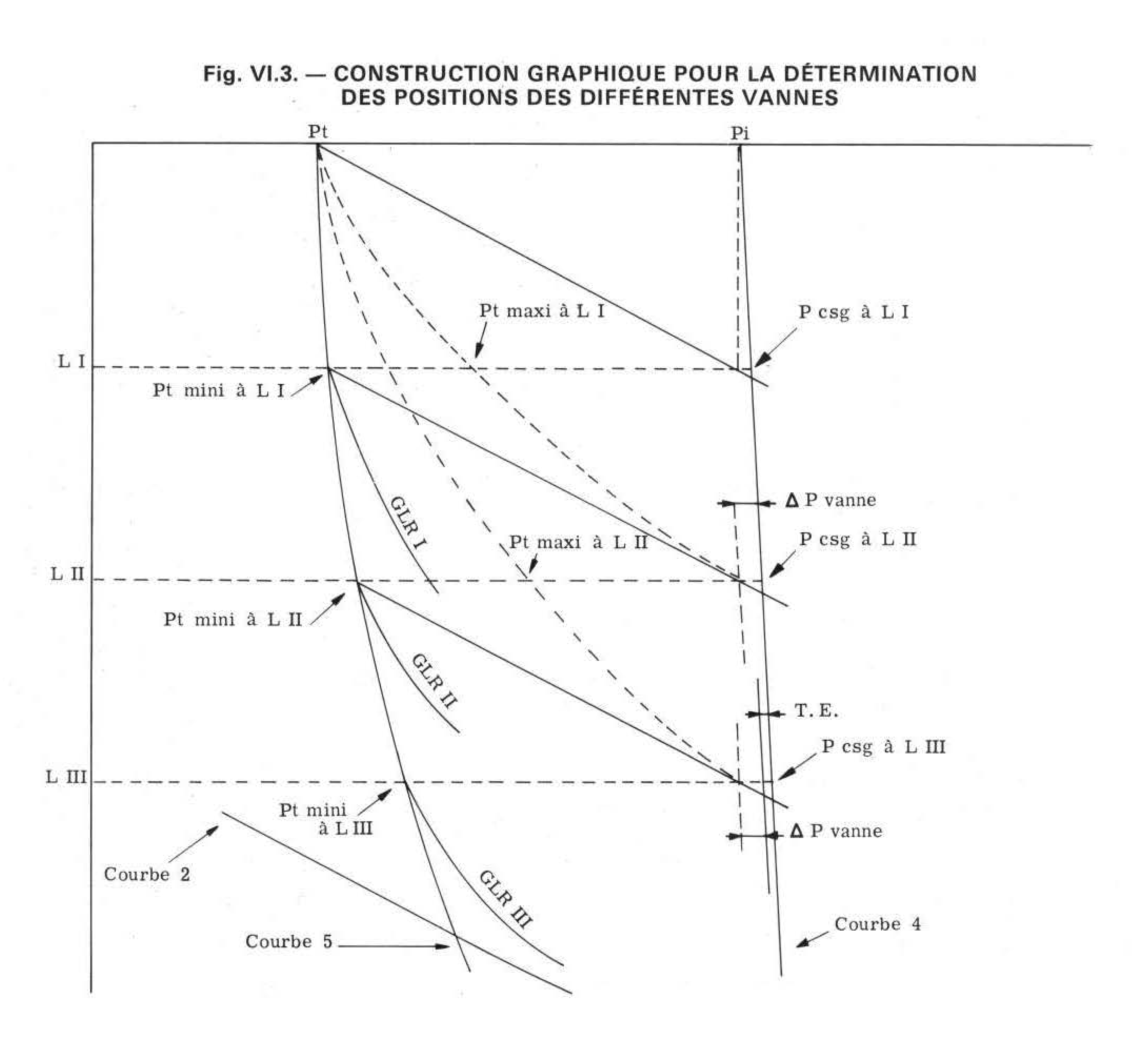


Fig. VI.4. — PRESSION DU GAZ EN PROFONDEUR

EQUATION DE BASE DU DIAGRAMME

$$P_V = P_W \, (e)^{\frac{GL}{53,34 \, T_{avg} Z}}$$

EXEMPLE DE PROBLEME :

DONNEES :

Pression du gaz en surface, P_W = 650 psi
Densité du gaz, G = 0,75
Longueur de la colonne de gaz, L = 6000'
Température moyenne du gaz, T_{avg} = 88°F
Facteur de compressibilité, Z = 0,845

CHERCHER : Pression, P_V à 6000'

SOLUTION : à partir du diagramme
P_V = 783 psi à 6000'

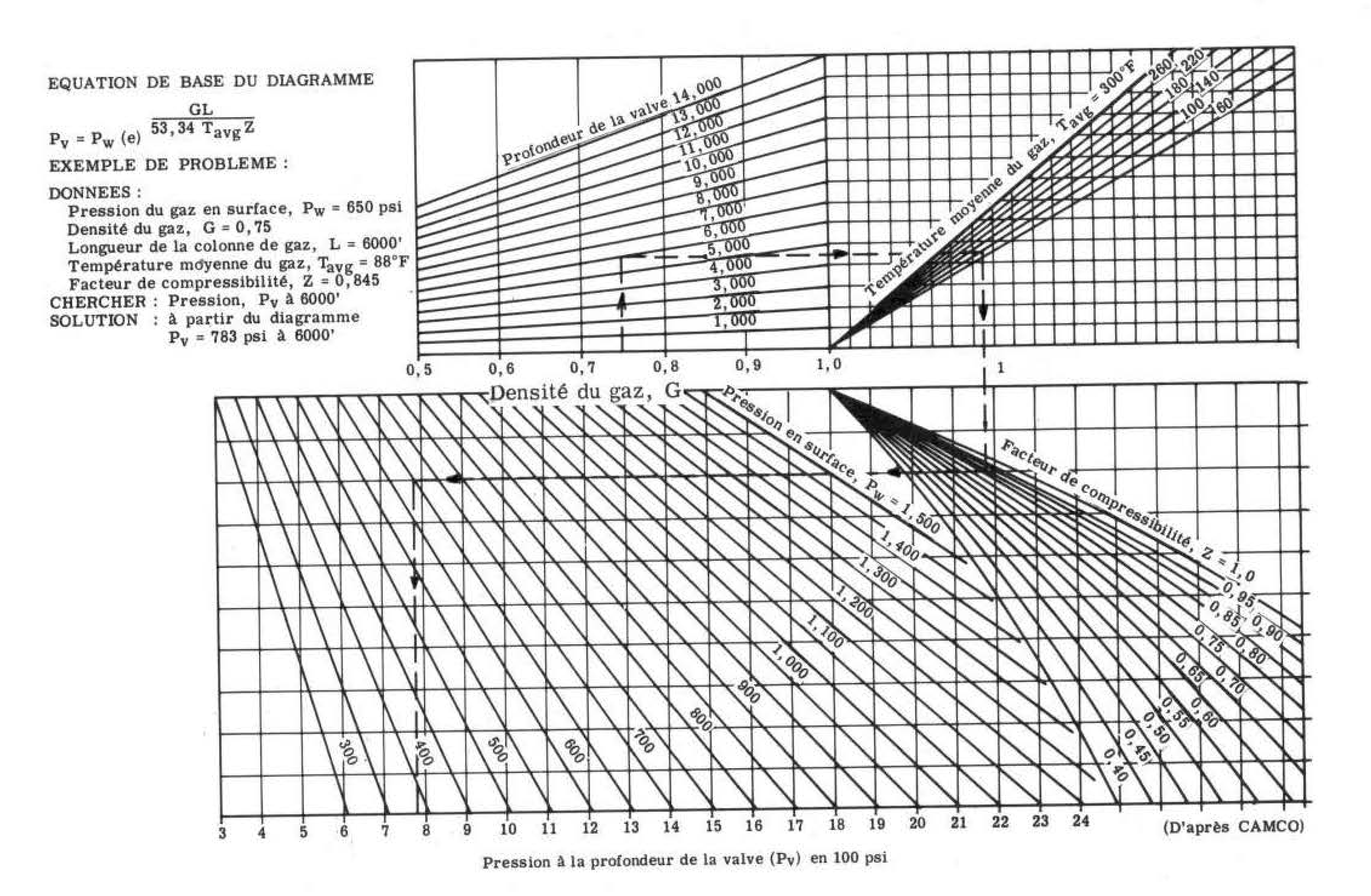


Fig. VI.5. — DÉBIT DU GAZ POUR DIFFÉRENTS DIAMÈTRES D'ORIFICE

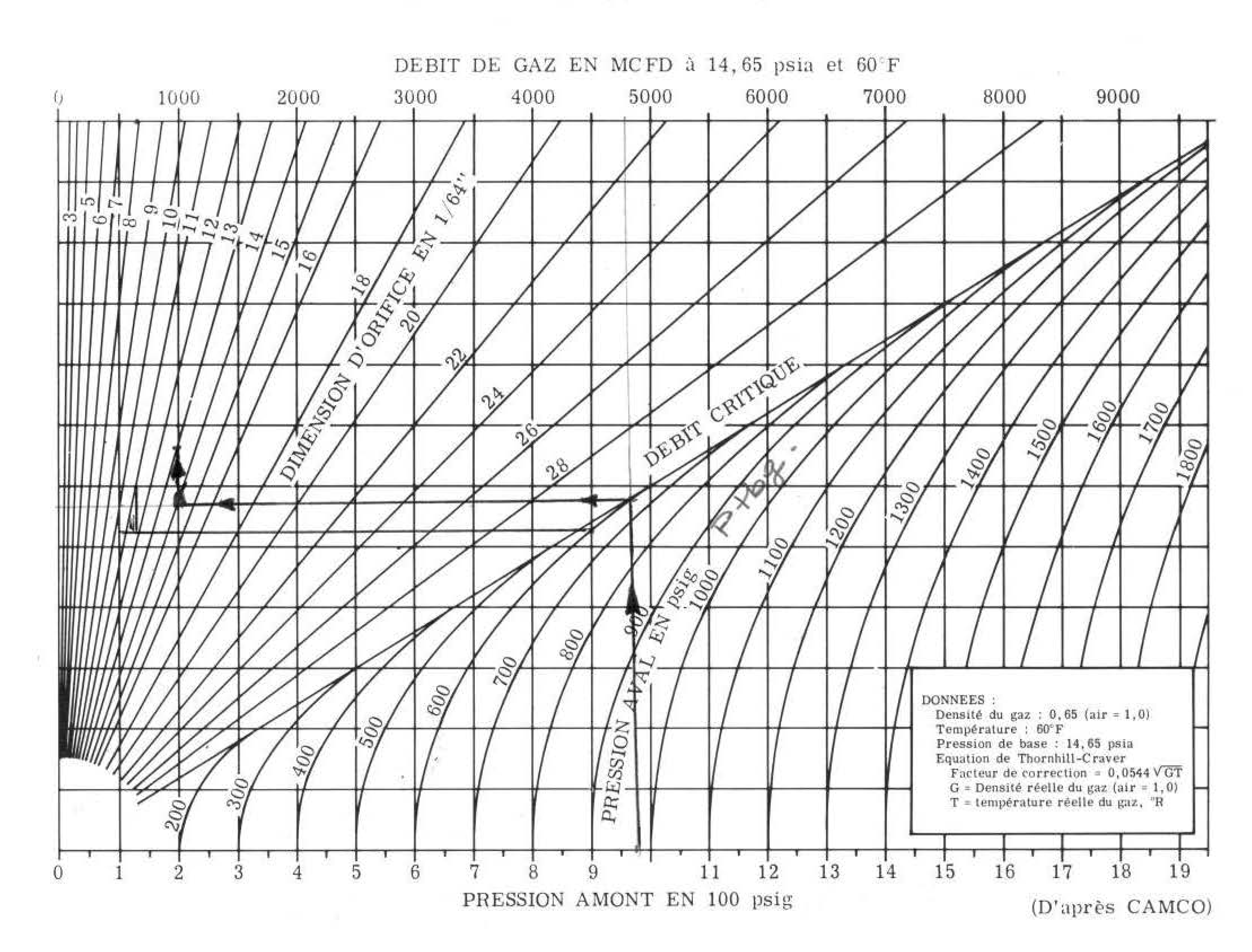


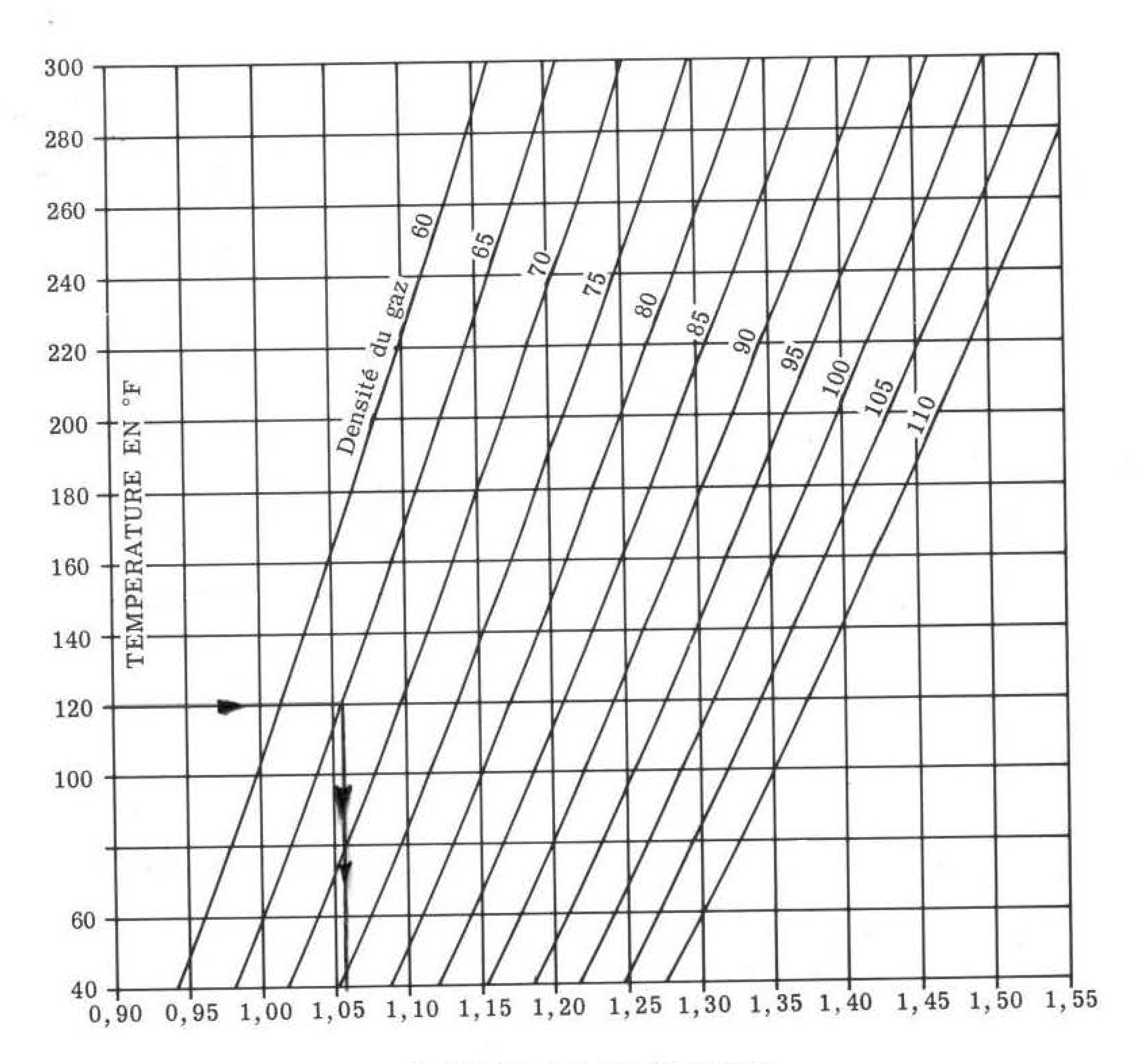
Fig. VI.6. — DIAGRAMME DU FACTEUR DE CORRECTION POUR LES DÉBITS DU GAZ

DONNEES :

Facteur de correction = $0,0544 \sqrt{GT}$

où : G = densité du gaz (air = 1,0)

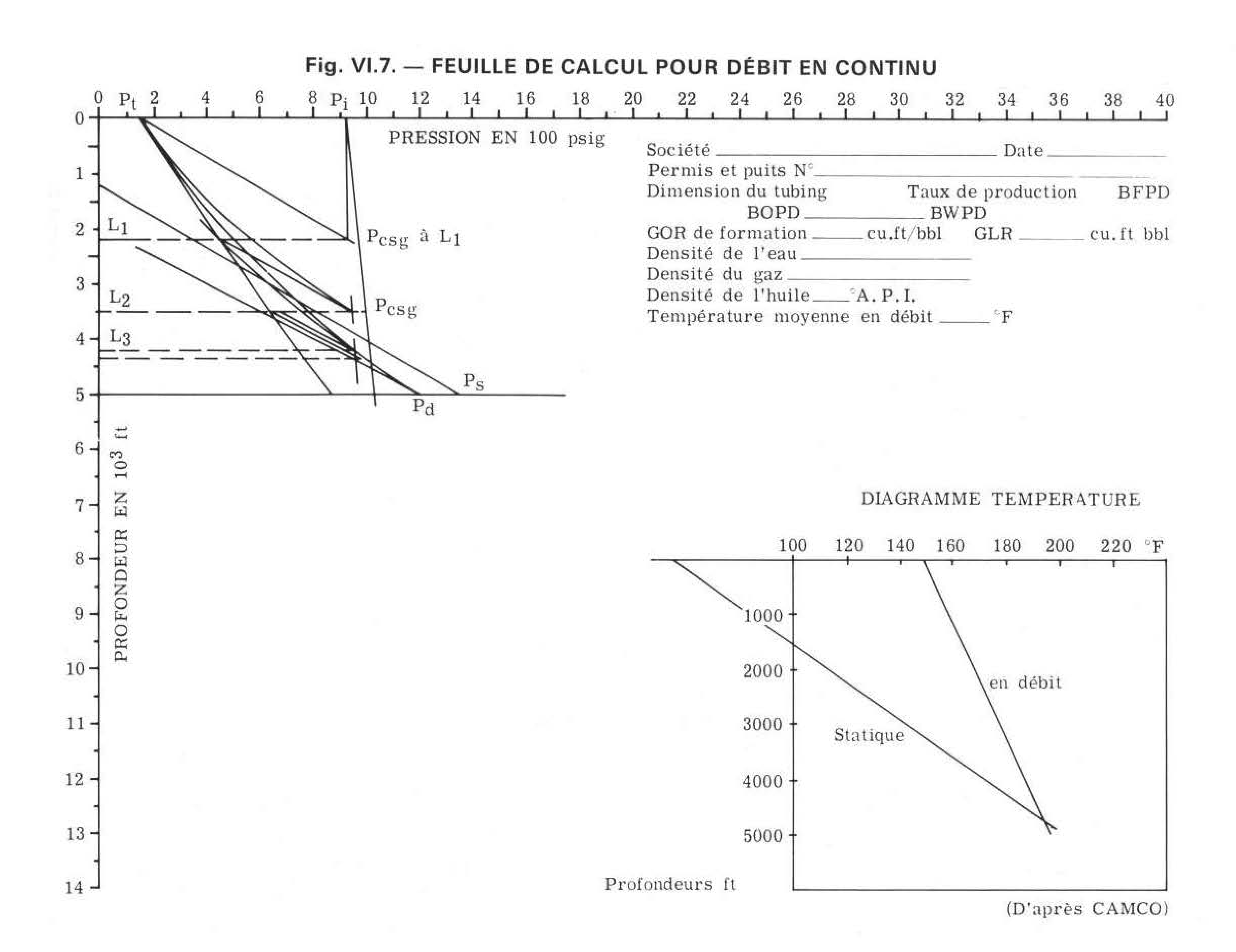
T = température, °R



FACTEUR DE CORRECTION

(D'après CAMCO)

Fig. VI.7. — FEUILLE DE CALCUL POUR DÉBIT EN CONTINU



CHAPITRE VII

chapitre VII

TRAVAIL AU CABLE

SOMMAIRE

1. LE CABLE

1.1. Dimensions existantes

1.1.1. DIAMETRES

0,066" - 0,072" - 0,082" - 0,092" - 0,105" - 0,120"

Ces deux derniers sont rarement utilisés car ils imposent des tambours de câble de diamètre trop grand.

Les câbles de 0,082" et 0,092" sont les plus utilisés pour le travail au câble classique. Lorsqu'il s'agit d'effectuer des opérations ne nécessitant pas de battage, enregistrements de pression, température par exemple, le câble de 0,072" peut suffire.

1.1.2. LONGUEURS STANDARDS

10 000' - 12 000' - 15 000' - 18 000' - 20 000' - 25 000'

1.2. Caractéristiques mécaniques

Il s'agit de corde à piano dont la résistance à la rupture doit être voisine de 160 à 166 hbars. Les caractéristiques essentielles auxquelles les câbles de mesures doivent satisfaire, sont données dans l'A.P.I. std 9 A, sections 3 à 7 dont nous extrayons l'essentiel du contenu ci-dessous :

Diamètre nominal (pouces)	0,066		0,072		0,082		0,092	
Tolérance sur le diamètre (pouces)	± 0,001		± 0,001		± 0,001		± 0,001	
Charge de rupture	livre	daN	livre	daN	livre	daN	livre	daN
minima	811	360	961	428	1239	551	1547	687
maxima	984	438	1166	520	1504	670	1877	836
Elongation en % sur échantillon de 10"								
minima	1 1/2		1 1/2		1 1/2		1 1/2	
maxima	3		3		3		3	
Torsion, nombre minimal de tours par longueur de 8" (203 mm)	32		29		26		23	

(ce poids nécessaire des barres de charge ne tient compte que de l'effet de la pression du puits sur la section du câble).

Les câbles de mesure doivent être d'une seule pièce, sans brasure, ni soudure; on prendra la meilleure qualité de la nuance d'acier choisie; la fabrication doit être soignée. Il ne doit pas y avoir de défauts pouvant affecter l'apparence du câble ou sa résistance. Les tourets de câble doivent porter une attestation du constructeur certifiant la conformité du câble aux normes A.P.I.

Lors des tests, si un échantillon ne donne pas satisfaction, on recommence sur un autre prélèvement. On ne refera pas plus de deux prélèvements après le premier. On prend ensuite la moyenne entre deux des trois tests, cette moyenne est prise comme représentant le câble, et doit répondre aux normes du tableau pour que le câble soit acceptable.

Test de tension et élongation.

On coupe sur le tambour un échantillon d'une longueur de trois pieds. Une partie de cet échantillon est soumise à l'essai de résistance à la traction (qui est en même temps l'essai d'élongation). L'élongation maximale est mesurée sur une longueur de 10 pouces (25 cm), au moment de la rupture, cette dernière devant avoir lieu sur l'intervalle qui sert à la mesure de l'élongation. Pour cette dernière, on appliquera une contrainte de 70 hbars sur le câble au point ou l'extensomètre est appliqué. On ajoutera 0,4 % aux indications de l'extensomètre pour tenir compte de l'élongation résultant de son application.

Test de torsion

Ce qui reste des 3 pieds servira au contrôle du diamètre et des spécifications à la torsion.

La distance entre les mâchoires de la machine à tester doit être de 203 mm ± 1,6 mm, le câble étant bien droit. Pour les câbles de petit diamètre, pour lesquels la rupture n'est obtenue qu'après un grand nombre de tours ; la distance entre mâchoires pourra être réduite, en dessous de 8'' (203 mm), pour gagner du temps.

On applique à une extrémité du câble un mouvement de rotation par rapport à l'autre extrémité, à une vitesse uniforme qui ne doit pas dépasser 60 tr/mn, jusqu'à ce que l'on ait rupture. La machine doit être équipée d'un compteur automatique permettant d'enregistrer le nombre de tours correspondant à la rupture.

Une mâchoire doit être fixe, l'autre doit pouvoir se déplacer dans l'axe du câble tout en permettant de lui appliquer une tension pendant le test. Les tests dans lesquels la rupture se produit à 3 mm ou moins d'une mâchoire sont nuls et doivent être recommencés.

Pendant le test de torsion, on suspendra au câble, des poids selon le tableau suivant :

Diamètre du câble	0,066	0,072	0,082	0,092
Poids à suspendre (daN)	5	6	7,5	9

- le nombre minimal de tours de torsion indiqué plus haut est le nombre de tours que le câble doit supporter sur une longueur de 203 mm avant de se rompre ;

- quand la distance entre les mâchoires est inférieure à 203 mm, le nombre minimal de tours de torsion sera réduit selon la formule :

$$Ts = \frac{T_L \times L_s}{L_1}$$

Ts : nombre de tours pour l'échantillon de longueur réduite;

L_s : longueur de l'échantillon réduit;

L_1 : 203 mm;

T_L : nombre de tours minimal pour une longueur de 8" (203 mm) comme indiqué dans le tableau plus haut.

1.3. Câbles spéciaux

Il s'agit de câbles résistant à la corrosion :

- câbles galvanisés : leurs caractéristiques sont très voisines de celles des câbles normaux;

- câbles en acier inox, type 316 (équivalent français Z 6 CND 18-12); leur résistance à la rupture est en général plus faible comme en témoigne le tableau ci-dessous.

	Charges de rupture (daN)	
Diamètre (in)	Mini	Maxi
0,066	258	304
0,072	306	362
0,082	400	470
0,092	500	600

La limite élastique de ce câble est environ 120 hbars.

- câbles multibrins toronnés.

1.4. Précautions à prendre

La méthode utilisée pour enrouler ou transférer le câble du touret de transport au tambour de treuil déterminera dans une large mesure la longévité et les performances du câble. On s'inspirera des schémas ci-dessous :



afin de conserver le même sens d'enroulement.

Lorsque la bobine est pleine, il doit subsister entre la dernière rangée des spires et les bords des flasques un espace d'au moins 2" (5 cm).

Eviter l'emploi de pinces, le contact d'arêtes vives et tranchantes.

Eviter les plis, ou coques, surtout lorsque le "mou" est important.

Lors de l'enroulement du câble, prendre bien soin de l'essuyer et de l'enduire d'une couche grasse de protection (corrosion).

Coupe du câble en fin d'opération :

- lorsque le train wireline est sorti du sas, le coucher, d'une main tenir le câble à 12 - 15 cm du socket, de l'autre sectionner le câble à l'aide d'une pince côté socket à 10 - 12 cm de celui-ci. Replier ces 10 - 12 cm le long du socket ;
- lorsque l'opérateur enroule le restant du câble, l'aide opérateur tient l'extrémité du câble de façon à ce qu'il soit constamment en tension, et l'accompagne jusqu'au treuil ;
- après chaque opération ayant nécessité un long battage, couper 10 - 20 m de câble ;
- d'une façon générale il est conseillé de refaire l'attache après 4 h de battage.

1.5. Poids du câble

Diamètre	Poids (lbs/1000')	Poids (daN/1000 m)
0,066	11,4	16,8
0,072	14	20,4
0,082	18	26,3
0,092	22,6	33

2. TRAIN D'OUTILS DE SERVICE POUR LE TRAVAIL AU CABLE

Il comprend :

- raccords;
- barres de charges;
- coulisses;
- rotules.

Tout outil de wire-line doit posséder à sa partie supérieure une tête de repêchage, qui consiste en une collerette circulaire, et permet le repêchage en cas de dévissage ou de rupture du filetage.

2.1. Raccord

Permet de solidariser le câble au train d'outils. Consiste en général d'un corps, ressort, rondelle-guide et d'un disque à gorge.

Sa longueur est d'environ 6" et ses caractéristiques sont les suivantes pour les dimensions les plus usuelles :

Diamètre nominal	Tête de repêchage	Filetage	Poids	
			(livres)	(daN)
1	3/8	5/8 - 11	3/4	3,3
1 1/4	1 3/16	15/16 - 10	1	4,4
1 1/2	1 3/8	15/16 - 10	1 3/4	7,8
1 7/8	1 3/4	11/16 - 10	3 1/4	14,5

2.2. Barres de charge

Par leur poids, permettent de descendre dans le puits ainsi que le battage avec coulisse.

Existent en longueurs standards de 2' - 3' - 5' (0,61 m - 0,91 m - 1,52 m)

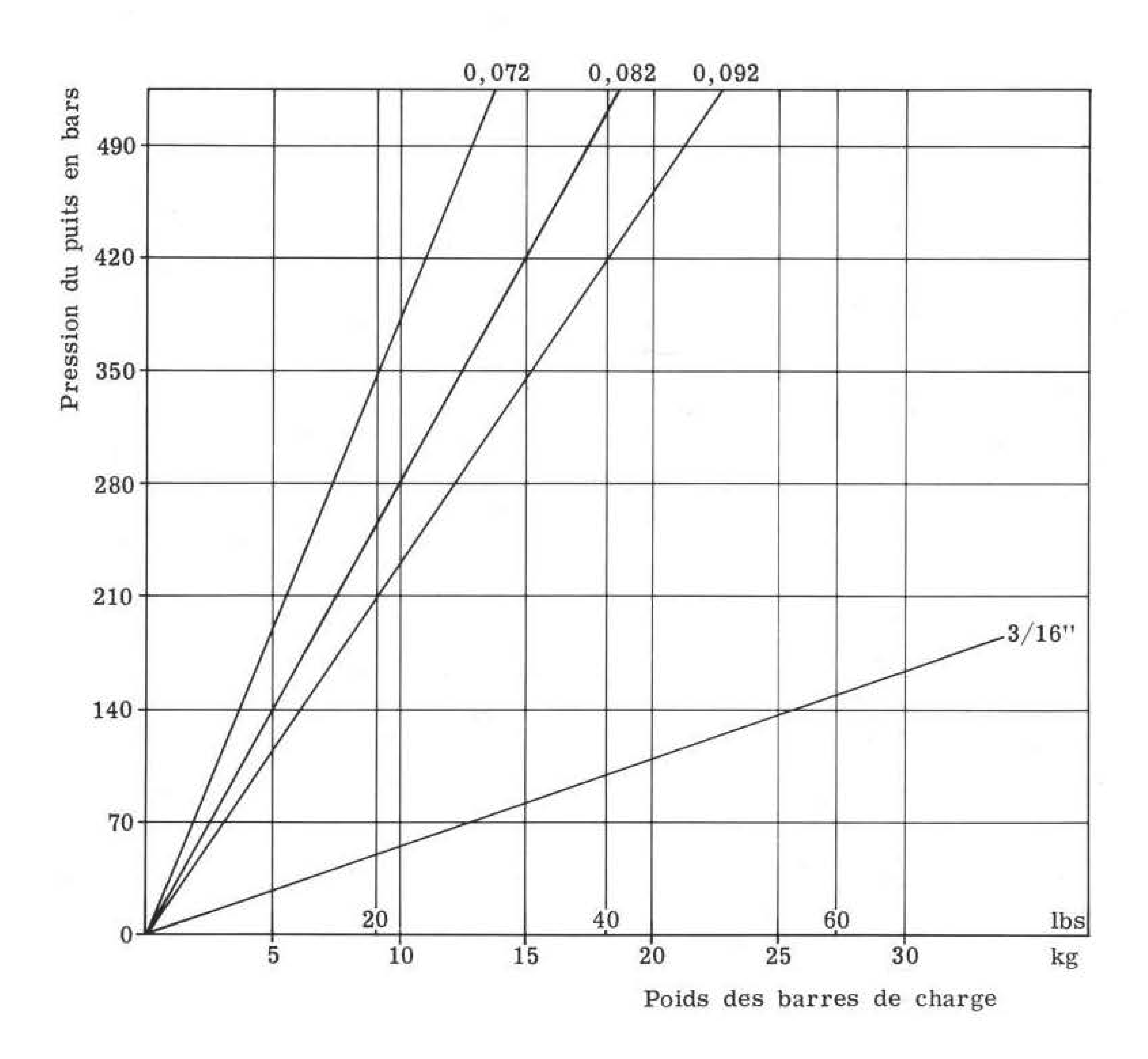
Leurs caractéristiques principales sont les suivantes :

Diamètre nominal	Tête de repêchage	Filetage	Poids (livres)		
			2'	3'	5'
1	7/8	5/8 - 11	5	7 1/2	12 1/2 - 15 1/2
1 1/4	11 3/16	15/16 - 10	8 - 8 1/2	12	20 - 21
1 1/2	11 3/8	15/16 - 10	10 1/2 - 12	16 1/2 - 18	30 - 34 1/2
1 7/8	1 3/4	1 1/16 - 10	16	25	63

La plupart des opérations au câble nécessitent un minimum de 8' de barres de charge.

Dans les puits à fort débit, il peut être utilisé des barres de charge plus lourdes, en plomb ou au mercure, pour compenser les efforts ascendants. La figure VII.1 donne le poids théorique des barres à utiliser en fonction de la pression statique de surface du puits.

Fig. VII.1. — POIDS THÉORIQUE DES BARRES A UTILISER EN FONCTION DE LA PRESSION STATIQUE DE SURFACE DU PUITS



Ce poids nécessaire des barres de charge ne tient compte que de l'effet de la pression du puits sur la section du câble.

2.3. Coulisses

Ensembles déformables permettant un battage dans le sens vertical. Il en existe trois types :

a) Coulisses mécaniques normales et tubulaires (battage ↑↓)

Leur course est en général, soit de 20" soit de 30". Pour un battage violent dans le découvert ou dans un tubing de grande dimension, il est préférable d'utiliser la coulisse tubulaire (risque de flambage de la coulisse normale). La violence du battage est fonction du poids des barres de charge et de la course de la coulisse. Ces coulisses sont à manipuler télescopées.

b) Coulisses hydrauliques (battage ↑)

On jouera avec l'élasticité du câble.

Le choc délivré par la coulisse hydraulique est fonction de la tension appliquée au câble ainsi que du poids des barres de charge placées au-dessus. Une coulisse hydraulique n'est jamais descendue seule, mais toujours avec une coulisse type mécanique qui doit être placée en-dessous. Vérifier souvent la bonne tenue des O-rings.

c) Coulisses à charge explosive (battage ↓)

Seront utilisées si l'on désire un battage vers le bas très violent (outils coincés, ouverture d'un pull plug...).

Principe :

- une charge explosive mise à feu dont les gaz chassent un piston vers le bas. Toujours descendue avec une coulisse mécanique.

2.4. Rotules

Elles permettent une flexion dans tous les sens, mais sous des angles faibles. Elles se placent en général entre la coulisse et les outils afin d'assurer un meilleur centrage dans le tubing. Elles peuvent également être intercalées entre les barres de charge pour descendre dans un tubing présentant des changements de direction dus par exemple au flambage. Elles sont également utilisées pour repêchage dans le découvert.

Certains types de rotules permettent un léger battage de l'ordre de 2" et 4" (5 et 10 cm).

3. DISPOSITIF DE MESURE DE LA PROFONDEUR

Il est indispensable que l'opérateur sache à tout instant la profondeur à laquelle son train d'outils se trouve.

Le dispositif de mesure assume deux fonctions importantes :

a) Par l'intermédiaire d'une poulie et de deux galets, le câble est maintenu en tension à la sortie du treuil (évite la formation de boucle sur le tambour).

La poulie de mesure a un diamètre minimal d'environ 20 cm afin d'éviter une détérioration du câble par torsion. Un tour mort autour de la poulie de comptage élimine tout glissement entre le câble et la poulie. Par ailleurs, ce dispositif peut se déplacer devant le treuil grâce à un parallélogramme maintenant ainsi la poulie toujours face au câble qui se déroule.

b) Un compteur entraîné par la poulie indique où se trouvent les outils.

Ce dispositif comporte un réducteur qui compte le nombre de tours et la lecture s'effectue directement en pieds ou mètres.

Prendre soin de changer la poulie lorsque des traces d'usure se manifestent dans la gorge afin d'éviter des lectures de profondeur erronées.

Des contrôles périodiques d'usure de la poulie de mesure doivent être faits par descente dans des puits ayant des repères à des profondeurs connues. Une précision de mesure de l'ordre de 2/10 000 peut être obtenue.

4. TENSIOMÈTRE

Permet à tout instant de connaître la force s'exerçant sur le câble et évitera ainsi l'application de surcharges qui rompraient le câble.

Les tensiomètres peuvent être de types différents :

- mécaniques;
- hydrauliques;
- électroniques.

Les deux derniers sont les plus couramment utilisés.

4.1. Tensiomètre hydraulique

Un piston comprime l'huile et cette pression est transmise à un manomètre gradué directement en livres.

Précautions à prendre :

- vérifier qu'il n'y a pas d'air dans le flexible reliant le piston au manomètre ;

- vérifier que l'appareil ne soit pas sous pression au repos (ceci pourrait provenir de l'exposition du flexible au soleil) ; il est conseillé de faire le zéro avec les outils dans le sas.

Ces erreurs dues aux poches d'air ou aux surpressions d'huile proviennent de ce que les variations supplémentaires de volume ne peuvent être compensées par le déplacement normal du piston.

4.2. Tensiomètre électrique

La résultante transmise au piston met l'huile en pression et modifie la résistance électrique d'un potentiomètre incorporé. La mesure des variations de résistance s'effectue par un indicateur gradué directement en tension du câble en livres.

Précautions à prendre : celles inhérentes à tout circuit électrique (changer les piles, calibrage fréquent dû à la perte de tension des piles, nettoyage des cosses métalliques...).

5. PRESSE-ÉTOUPE — SAS — DISPOSITIF DE SÉCURITÉ

Ces éléments permettent d'assurer le passage entre la pression du puits et la pression atmosphérique lors des différents changements d'outils nécessaires à la bonne conduite de l'opération.

Selon la pression en tête de puits, trois catégories d'équipement sont utilisés :

- pression de travail de 0 à 210 hbars - équipement testé à 420 hbars;
- pression de travail de 0 à 350 hbars - équipement testé à 700 hbars;
- pression de travail de 350 à 700 hbars - équipement testé à 1400 hbars.

Si l'on veut travailler dans des puits où la pression en tête est supérieure à 700 hbars, il faudra tester l'équipement à une valeur au moins double de la pression de travail.

5.1. Presse-étoupe

Assure l'étanchéité de la partie supérieure du tube sas (atmosphère - pression du puits).

L'étanchéité est réalisée par un packing composé de six ou sept pastilles en caoutchouc dur serrées entre une butée inférieure fixe et une butée supérieure réglable au moyen d'une vis moletée.

L'ensemble poulie-support peut pivoter afin de se trouver constamment dans l'alignement de la poulie du tensiomètre (cas d'opérations offshore avec unité sur barge).

Précautions à prendre :

a) avant le montage s'assurer que les pastilles en caoutchouc dur sont en bon état. Il est recommandé de changer au moins les trois pastilles supérieures avant chaque opération et l'ensemble toutes les trois ou quatre, ou plus fréquemment si elles s'avèrent en mauvais état. Vérifier le bon état de l'O-ring et du plongeur. S'assurer que le montage est libre mais sans jeu.

b) en cours d'opération ne pas permettre un échappement de gaz trop important qui risquerait de "siffler" les garnitures. Serrer les packing de telle sorte que le train d'outils puisse descendre par son propre poids lorsqu'il se trouve dans le sas (graisser le câble) tout en maintenant une fuite minimale et si possible nulle.

L'utilisation des presse-étoupe à chambre d'huile pour les puits à gaz, permet d'obtenir une meilleure étanchéité de ce presse-étoupe et un passage plus aisé du câble.

5.2. Tube sas

Pour faciliter le transport, le tube est composé d'un certain nombre d'éléments de 8 pieds en général, se raccordant par l'intermédiaire de raccords rapides, l'étanchéité étant assurée par O-ring. Une vanne 1/2" est prévue au bas du tube inférieur permettant de purger le sas lorsque la vanne du puits est fermée. Ne jamais essayer de dévisser les raccords rapides en forçant, cela signifie que la purge n'a pas été complète (bouchon d'hydrates par exemple).

Faire attention que la longueur de sas montée et que son diamètre intérieur couvriront et les outils de manœuvres et les outils à repêcher.

5.3. Dispositif de sécurité

Il s'agit des obturateurs se plaçant sous le sas et immédiatement au-dessus de la tête de puits, et dont le but est d'empêcher ou de contrôler une éruption. Ces obturateurs sont équipés de mâchoires ou clapets de caoutchouc dur pouvant se refermer sur le câble et assurer une étanchéité complète. Ils sont nécessaires lors d'une instrumentation. Un by-pass réglable par vis-pointeau permet d'égaliser les pressions de part et d'autre des clapets ou mâchoires et l'ouverture de ces dernières.

En règle générale, s'assurer après chaque montage et avant de débuter une opération, du bon fonctionnement de l'obturateur ; ceci se fait en fermant l'obturateur, puits ouvert et vanne de purge du sas ouverte. Il ne doit pas y avoir de fuites. Après chaque instrumentation ayant nécessité une remontée de câble, obturateur fermé, changer les garnitures d'étanchéité.

6. TREUILS

Peuvent être, en fonction du lieu de travail, et de la puissance requise, montés sur skid, remorque, camion, bateau ou même transportés par hélicoptère.

Consistent en un moteur (essence-diesel), circuit hydraulique, tambour pour éléments de liaison et contrôle (embrayage, frein...). Le circuit hydraulique comprend :

- un réservoir, une pompe hydraulique, une vanne de sécurité, un moteur hydraulique, des manomètres.

6.1. Possibilités des treuils en fonction de leur puissance

On peut considérer deux cas suivant que les opérations doivent se faire avec ou sans battage.

Puissance du treuil (ch)	Profondeur limite conseillée (m)	
	sans battage	avec battage
9	2 000	500 (à la main)
14	3 000	2 000
22	5 000	2 500
48	5 000	5 000

6.2. Vitesses recommandées pour certaines opérations

Opérations	Descente (m/s)	Remontée (m/s)
Amérada	1	1
Echantillonneur	1	Maximum
Contrôle de puits	2	2
Pose de mandrels	Fonction du puits	Fonction du puits
Déparaffinage	Fonction du puits	Fonction du puits
Caliper	Indifférente	20 à 22 m/mn

Un treuil doit toujours être arrimé par des chaînes sur une barge ou sur une tête de puits offshore. Sur terre des cales et béquilles d'ancrage seront prévues, ceci au cas où lors d'une remontée un coincement surviendrait et tendrait à entraîner le treuil vers la tête de puits.

7. GOUPILLES DE CISAILLEMENT

La libération d'un outil, ou le relâchement des chiens est le plus souvent obtenu par le cisaillement de goupilles. La résistance de ces goupilles au cisaillement est choisie suivant la nature de la goupille et son diamètre.

Les différentes matières utilisées pour la fabrication des goupilles sont :

- ébonite;
- aluminium;
- cuivre;
- laiton et bronze;
- acier moyen;
- acier recuit.

Les diamètres des goupilles sont généralement compris entre 1/16" et 3/8"(1,6 et 9,5 mm).

Deux positions de goupillages sont généralement employées :

- goupille diamétrale;
- goupille tangentielle.

Le cisaillement des goupilles est réalisé par le déplacement d'une chemise coulissante par rapport à une âme centrale.

La résistance au cisaillement pour un matériau donné est proportionnelle à la surface de sectionnement de la goupille.

Valeur approchée de la résistance au cisaillement :

Nature	Résistance au cisaillement	
	(hbar)	(psi)
cuivre jaune	28,5	41.000
aluminium	28,5	41.000
laiton bronze	40	58.000
fer doux	40	58.000
acier trempé poli recuit	56	81.000

Un certain nombre de facteurs modifient ces valeurs :

- bords de l'âme et de la chemise, tranchants ou arrondis ;
- trou dans l'âme et la chemise plus grand que la goupille ;
- jeu entre l'âme et la chemise.

CHAPITRE VIII

chapitre VIII

STIMULATION

SOMMAIRE

AVERTISSEMENT

Il ne saurait être question de traiter ici tous les aspects des différents procédés de stimulation utilisés couramment.

La connaissance aussi précise que possible de la nature et des caractéristiques du réservoir, des fluides en place, des pressions et de l'état réel du puits constitue le point de départ à toute opération de stimulation.

La gamme toujours croissante des fluides et additifs mis à disposition de l'opérateur implique un choix souvent difficile qui ne pourra être partiellement résolu que par des études et tests de laboratoire.

Les techniques opératoires, sur chantier, sont également essentielles pour parvenir à des résultats satisfaisants.

Il est clair qu'une bonne coordination est de rigueur entre Bureau et Chantier, via le Laboratoire, pour arriver à concilier des éléments et/ou des points de vue souvent divergents.

L'analyse des résultats, principalement des échecs qui ne manqueront pas de se manifester, permettra de parvenir à une certaine maîtrise des techniques dans un domaine constitué, hélas, de trop nombreux cas particuliers. Enfin un esprit critique constructif joint à une absence d'idées toutes faites ne pourront que faciliter la recherche d'une solution satisfaisante.

1. GÉNÉRALITÉS

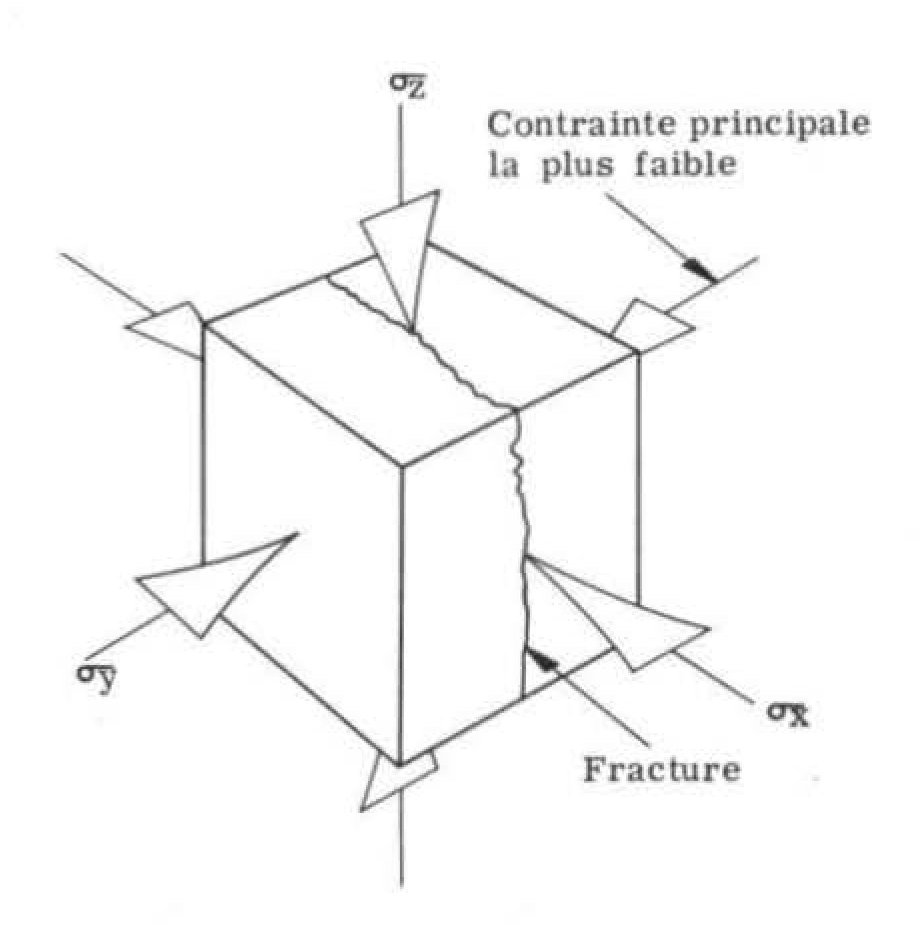
1.1. Fracturation hydraulique

Les opinions varient quant à l'origine et à l'orientation des fractures obtenues par voies hydrauliques et les résultats expérimentaux en laboratoire sont souvent en désaccord avec les études théoriques et les traitements sur champs.

ORIENTATION DES FRACTURES

En simplifiant on peut formuler au moins deux hypothèses pour expliquer le développement des fractures :

a) Orientation en rapport direct avec les contraintes réelles, en particulier tectoniques, existant dans le réservoir aux abords du puits (rupture perpendiculaire à la contrainte la plus faible (fig. ci-contre).



Dans ces conditions on admet que, pour un gradient de fracturation :

1 psi/pied (0,23 bar/m) on développe une fracture horizontale;

0,7 psi/pied (0,16 bar/m) on développe une fracture verticale.

b) Les fractures se développent suivant les zones de moindre résistance sans orientation bien définie : le fluide pompé n'ouvrant que des fissures préexistantes.

La valeur du gradient, donc sa signification, est nettement influencée par l'état du puits : en particulier disposition, type et nombre de perforations (fig. VIII. 1) et par l'endommagement (colmatage) des abords du trou (fig. VIII. 2).

En règle générale le rapport Kh fracture/Kh formation devra être > 10 pour entraîner une amélioration suffisante;

Le débit, donc la puissance disponible en tête de puits, seront suffisants (on considère que 3 200 l/mn, soit 20 BPM, constitue un minimum);

L'amélioration d'index de productivité ainsi obtenue n'excède pas 3 à 5.

1.2. Acidification

Un double but :

Rechercher par une action principalement chimique :

- le décolmatage des abords du puits [élimination de l'effet pelliculaire (Skin)];
- le traitement en profondeur des formations pour faciliter l'écoulement des fluides vers le puits.

Des réactions secondaires, parfois nuisibles, peuvent provoquer la formation de précipités insolubles pouvant colmater le réservoir. Un contrôle du pH, maintenu très bas, est toujours souhaitable.

De nombreux additifs permettent de faire face à la plupart des problèmes rencontrés; dans ces conditions, des tests préliminaires en laboratoire sont indispensables.

Ne pas perdre de vue que "Pression" et "Température" ont une grande importance.

1.3. Traitements divers

- lavage des formations;
- traitements mixtes (par exemple acidification suivie d'un lavage).

2. FRACTURATION HYDRAULIQUE

2.1. Fluides — Agents de soutènement — Additifs

2.1.1. FLUIDES

a) à base d'huile :

- brut;
- huile raffinée ou semi-raffinée;
- brut ou huile raffinée gélifiée.

b) à base d'eau :

- eau ;
- eau gélifiée ;
- acide chlorhydrique concentré (28 %) ·
- acide chlorhydrique (à 15 %) gélifié

c) émulsions :

- acide chlorhydrique 5 à 20 % dans gas-oil (rapport de 70/30 à 90/10) ;
- huile dans eau (rapport 96/4).

2.1.2. AGENTS DE SOUTENEMENT

- sable ;
- coquilles de noix
- billes de verre ;

} à différentes granulométries ;

2.1.3. ADDITIFS

- gélifiants;
- émulsifiants;
- tensio-actifs;
- inhibiteurs de corrosion;
- agents contrôlant le gonflement des silicates;
- réducteurs de filtrat;
- désémulsifiants;
- réducteurs de friction.

Note :

Pour les compositions des différentes formules et les concentrations des divers additifs, se référer aux instructions des compagnies de service.

2.2. Calculs et définitions

2.2.1. PRESSION DE FRACTURATION

$$p_F = p_{FG} \times H$$

avec :

p_F : pression de fracturation (psi ou bar) ;

p_{FG} : gradient de fracturation (psi/ft ou bar/m) ;

H : profondeur (ft ou m).

2.2.2. GRADIENT DE FRACTURATION

$$p_{FG} = \frac{p_h + p_s + p_f - p_{pf}}{H}$$

ou :

p_h : pression hydrostatique (psi ou bar) ;

p_s : pression en surface (psi ou bar) :

p_f : pertes de charge dans matériel tubulaire (psi ou bar) ;

$p_{pf.}$: pertes de charge dans les perforations (psi ou bar).

2.2.3. PRESSION INSTANTANEE AU MOMENT DE L'ARRET DES POMPES (psi ou bar)

$$p_i = p_F - p_h$$

2.2.4 SURFACE (fig VIII.3 et VIII.4)

$$A = \frac{Q_i W}{4\pi C^2} \left[e^{n^2} . \operatorname{erfc}(n) + \frac{2n}{\sqrt{\pi}} - 1 \right]$$

où : $$n = \frac{2C}{W} \sqrt{(\pi t)}$$

A : surface de fracture (ft^2) ;
Q_i : débit d'injection (ft^3/mn) ;
t : temps de pompage (mn) ;
W : épaisseur de fracture (ft);
C : coefficient fluide ($ft/\sqrt{mn}$) ;
erfc(n) : fonction erreur complémentaire de n.

2.2.5. COEFFICIENT DE FLUIDE

$C = 0{,}0328 \ m/2a$;
où m : pente de la courbe de filtration ($cm^3/\sqrt{mn}$) ;
a : surface de la carotte (cm^2).

2.2.6. SPURT

Perte par filtration instantanée ramenée à une surface de carotte de $23{,}5 \ cm^2$ (cm^3).

2.2.7. EPAISSEUR DE FACTURE (Atlantic modifiée) (fig. VIII. 5)

a) fracture verticale :

$$W = 0,70 \left(\frac{Q \mu L_F}{E}\right)^{1/4}$$

b) fracture horizontale :

$$W = 0,44 \left(\frac{Q \mu L_F}{E}\right)^{1/4}$$

ou W : épaisseur de la fracture aux abords du puits (pouces) ;
Q : débit d'injection (BPM) ;
μ : viscosité (cPo);
E : module d'élasticité de la roche (psi) ;
L_F : longueur de la fracture (ft).

2.2.8. CONDUCTIVITE DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE (fig. VIII. 6. a, b, c, d, e, f, g, h)

Principales valeurs de E

- Roches "tendres"	E = 2,3. 10^6 psi (1,6. 10^3 hbar)
- Roches "mi-dures"	E = 6,5. 10^6 psi (4,5. 10^3 hbar)
- Roches "dures"	E = 9,5. 10^6 psi (6,5. 10^3 hbar)
- Roches "très dures"	E = 13,0. 10^6 psi (9. 10^3 hbar)

2.2.9. AMELIORATION DE L'INDEX DE PRODUCTIVITE

a) fracture horizontale (fig. VIII. 7) :

$$\frac{I_F}{I} = \frac{\dfrac{L \dfrac{r_e}{r w}}{K_{EH}\, h}}{\dfrac{L \dfrac{r_f}{r_w}}{K_{EH}\, h + K_{EF}\, W \times 10^3} + \dfrac{L \dfrac{r_e}{r_f}}{K_{EH}\, h}}$$

b) fracture verticale (fig. VIII. 8)

$$\frac{I_F}{I} = \frac{1 + \left[M \operatorname{arctg} \dfrac{18 - \dfrac{r_f}{r_e}}{M}\right]}{\dfrac{7,13}{L\, 0,472 \dfrac{r_e}{r_f}}}$$

où $$M = 7,27 + 6,09 \text{ Arctg } (0,524 \text{ L } \frac{x}{3})$$

$$x = \frac{K_{EF} W}{KEH} \sqrt{\frac{40}{Y}}$$

I_F : index de productivité après fracturation ;
I : index de productivité avant fracturation ;
r_f : rayon de fracture (ft) ;
r_e : rayon de drainage (ft) ;
r_w : rayon du puits (ft) ;
K_{EF} : perméabilité de fracture (D) ;
W : épaisseur de fracture (ft) ;
E_{EH} : perméabilité horizontale (mD) ;
Y : aire de drainage (acres) ;
h : épaisseur de formation productive (ft).

2.2.10. PUISSANCE HYDRAULIQUE

$$HHP = 0,0245 \; P_{psi} \; Q_{BPM}$$

où p : pression en surface ;
Q : débit d'injection.

ou $$P_{ch} = 0,0218 \; p_{bars} \times Q_{l/mn}$$

3. ACIDIFICATION

3.1. Acides utilisés en stimulation. Réactions de base

a) acide chlorhydrique

$$2 \, HCl + CaCO_3 \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2 \uparrow$$

b) mélange d'acide chlorhydrique et d'acide fluorhydrique

$$4 \, HF + SiO_2 \longrightarrow SiF_4 + H_2O + CO_2$$

$$2 \, HF + CO_3Ca \longrightarrow CaF_2 + H_2O + CO_2 \uparrow$$

c) acide acétique :

$$2\ CH_3COOH + Ca\ CO_3 \longrightarrow Ca\ (CH_3COO)_2 + CO_2 + H_2O$$

d) acide sulfamique :

$$2\ NH_2SO_3H + Ca\ CO_3 \longrightarrow Ca\ (NH_2SO_3)_2 + H_2O + CO_2$$

e) divers acides organiques.

3.2. Additifs

3.2.1. INHIBITEUR DE CORROSION

Protège matériel tubulaire et de pompage. Sa concentration est fonction de la formule d'acide et de la température de formation. L'efficacité est toujours limitée dans le temps.

3.2.2. TENSIO-ACTIF

Facilite le contact acide-roche et le retour de l'acide usé.

3.2.3. DESEMULSIFIANT

Evite la formation d'émulsions.

3.2.4. AGENT CONTROLANT LE GONFLEMENT DES SILICATES

Prévient ou limite le gonflement.

3.2.5. AGENT SEQUESTRANT (acide lactique ou citrique)

Evite la précipitation d'hydroxyde de fer aux pH élevés.

3.2.6. REDUCTEUR DE FILTRAT

3.2.7. REDUCTEUR DE FRICTION

3.2.8. RETARDATEURS

Ralentissent la vitesse de réaction de l'acide sur la roche. Plusieurs procédés sont couramment utilisés pour arriver à ce but :

- réalisation d'un gel ;
- réalisation d'une émulsion acide dans l'huile ;
- mélange acides chlorhydrique - acétique ;
- addition d'un tensio-actif et d'huile qui inhibent temporairement la roche;
- addition d'alcool;
- acide chlorhydrique à 28 %;
- acides organiques.

3.3. Principales formules de traitement acide. Leurs applications

Note :

Dans la liste ci-dessous sont indiquées les formules de base. Les additifs mentionnés ci-dessus sont ajoutés en fonction des besoins et de leur compatibilité avec les additifs de base. Dans ce qui va suivre, on entend par :

- Formation gréseuse : toute formation qui, broyée, a une solubilité dans l'acide chlorhydrique à 15 % inférieure à 20 %;

- Formation carbonatée : toute formation qui, broyée, a une solubilité dans l'acide chlorhydrique à 15 % supérieure à 20 %.

Pour les concentrations exactes des différentes formules et additifs se référer aux instructions des compagnies de service.

3.3.1. ACIDE CHLORHYDRIQUE 5 A 15 % INHIBE + TENSIO-ACTIF :

Formations carbonatées - Décolmatage des abords du puits.

3.3.2. ACIDE CHLORHYDRIQUE 12 % + ACIDE FLUORHYDRIQUE 3 % INHIBES + TENSIO-ACTIF (Mud Acid) :

Formations gréseuses. Décolmatage des abords du puits et traitement profond.

Attention :

Cette formule est strictement prohibée pour les formations calcaires par suite des risques de précipitation de fluorure de calcium.

3.3.3. ACIDE CHLORHYDRIQUE 5 A 15 % INHIBE + ALCOOL :

Formations carbonatées. Décolmatage des abords du puits et traitement profond.

3.3.4. ACIDE CHLORHYDRIQUE 12 % + ACIDE FLUORHYDRIQUE 3 % INHIBES + ALCOOL :

Formations gréseuses. Décolmatage des abords du puits et traitement profond.

3.3.5. ACIDE CHLORHYDRIQUE 28 % INHIBE :

Formations carbonatées. Traitement profond par fracturation.

3.3.6. ACIDE CHLORHYDRIQUE 5 A 18 % INHIBE ET GELIFIE :

Formations carbonatées. Traitement profond.

3.3.7. EMULSION ACIDE CHLORHYDRIQUE 5 A 15 % INHIBE DANS GAS-OIL OU BRUT (rapport 70 à 90/30 à 10) :

Formations carbonatées. Traitement profond par fracturation.

3.3.8. ACIDE CHLORHYDRIQUE 15 % + ACIDE ACETIQUE 10 % INHIBES :

Formations carbonatées. Traitement profond.

3.3.9. ACIDE CHLORHYDRIQUE 15 % INHIBE + GAS-OIL + TENSIO-ACTIF A FORTE CONCENTRATION :

(formule d'acide retardé agissant par inhibition de la roche)

Formations carbonatées. Traitement profond.

3.3.10. ACIDE SULFAMIQUE INHIBE + TENSIO-ACTIF :

Formations carbonatées. Décolmatage des abords du puits. Formule de remplacement utilisée dans les puits éloignés.

3.3.11. ACIDE SULFAMIQUE + ACIDE FLUORHYDRIQUE INHIBES + TENSIO-ACTIF :

Formations gréseuses. Décolmatage des abords du puits.

3.3.12. ACIDES ORGANIQUES INHIBES :

Formations calcaires. Traitement profond.

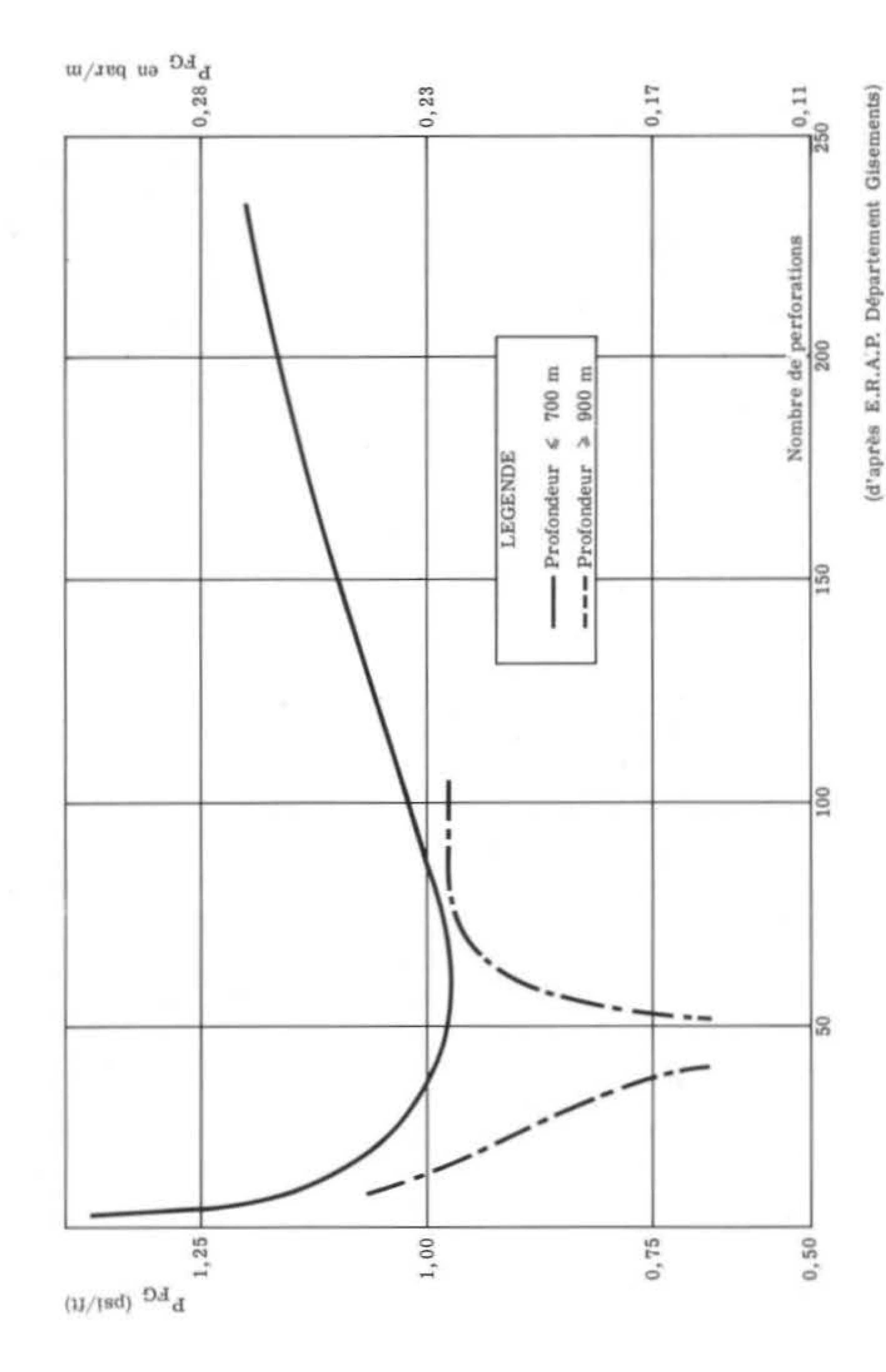
Nota :

L'acide fluorhydrique est obtenu par la réaction de l'acide chlorhydrique sur le bifluorure d'ammonium.

ACTIONS DES DIFFÉRENTS TYPES D'ACIDES

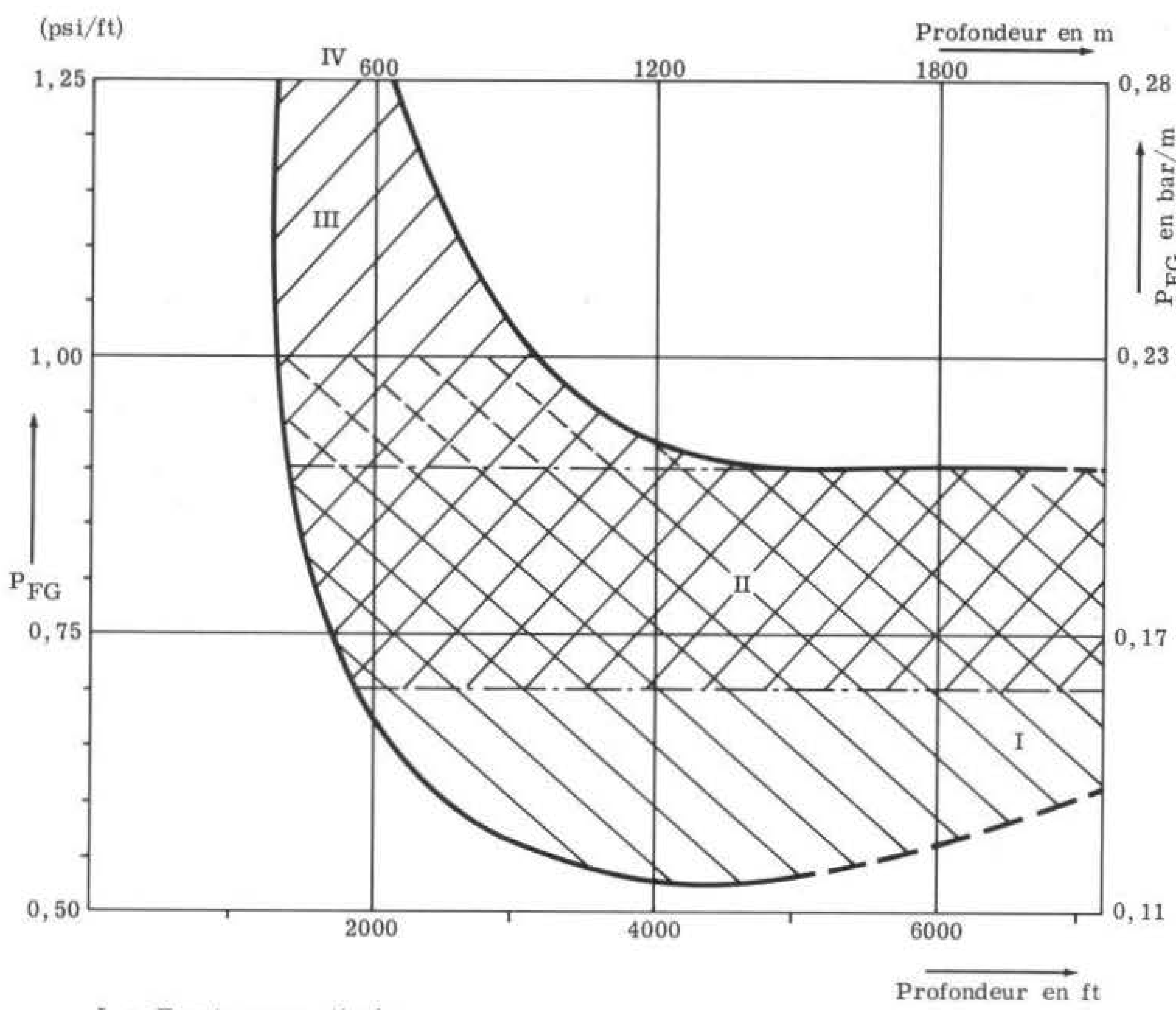
Formation	Formations carbonatées			Formations gréseuses	
But	Décolmatage des abords du puits	Traitement profond	Fracturation	Décolmatage des abords du puits	Traitement profond
Formule					
HCl 5 à 15 % inh. + Tensio-actif	X				
MUD ACID	(hachuré)	(hachuré)	(hachuré)	X	X
HCl 5 à 15 % inh. + alcool	X	X			
MUD ACID + Alcool	(hachuré)	(hachuré)	(hachuré)	X	X
HCl à 28 % inhibé		X	X		
HCl + CH_3COOH inhibé		X			
HCl gélifié	X	X	X		
Emulsion HCl dans huile		X	X		
HCl retardé par inhibition de la roche		X			
Acide sulfamique + tensio-actif	X				
Acide sulfamique + HF + Tensio-actif				X	
Acide organique		X			

Fig. VIII.1. — ÉVOLUTION DU GRADIENT EN FONCTION DU NOMBRE DE PERFORATIONS



(d'après E.R.A.P. Département Gisements)

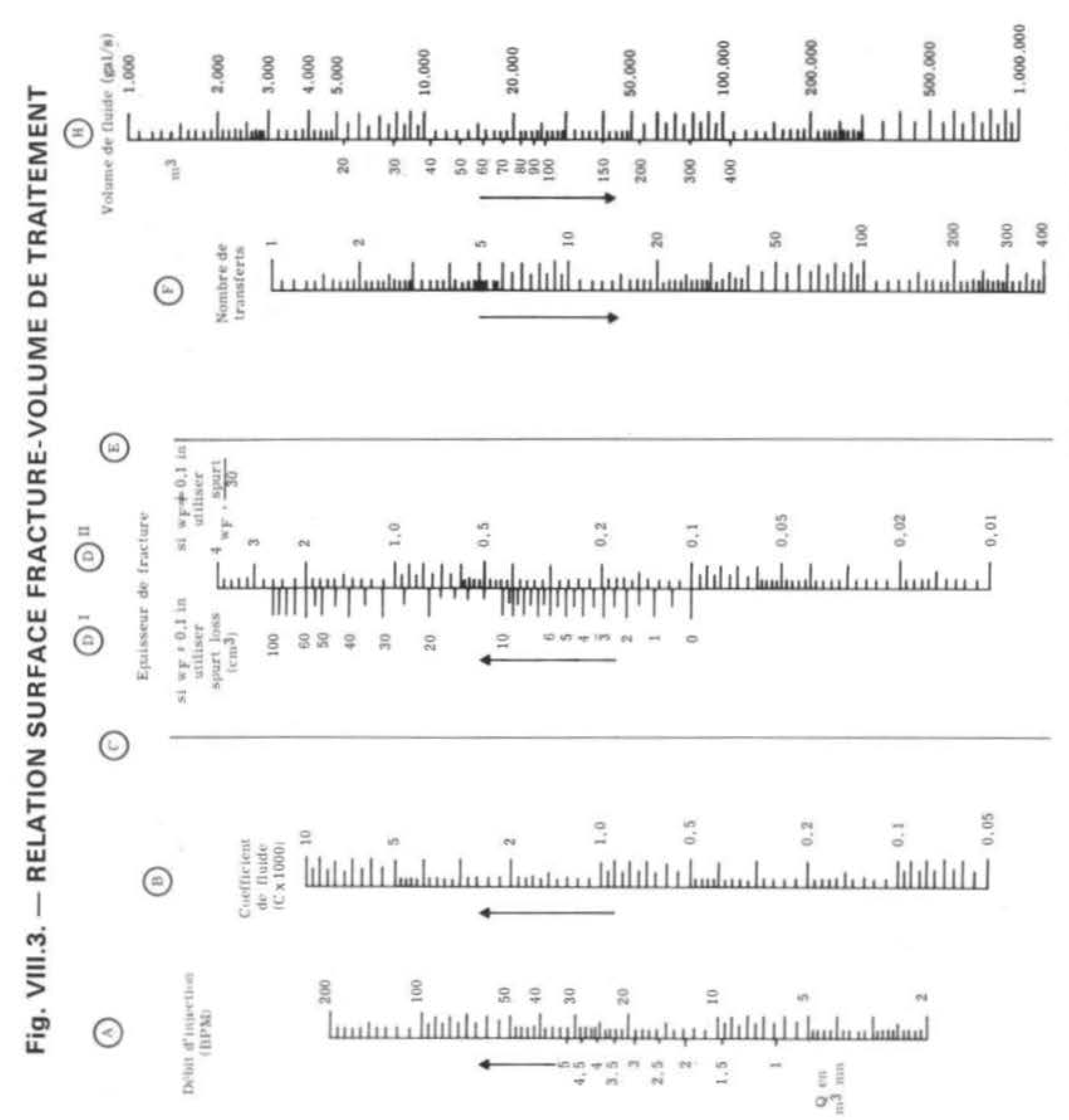
Fig. VIII.2. — ÉVOLUTION DU GRADIENT DE FRACTURATION AVEC LA PROFONDEUR



I : Fractures verticales
II : Fractures indéterminées
III : Fractures horizontales
IV : Colmatage pour $1,25 < P_{FG} \leqslant 1,60$ psi/ft ou $0,288 < P_{FG} \leqslant 0,37$ bar/m

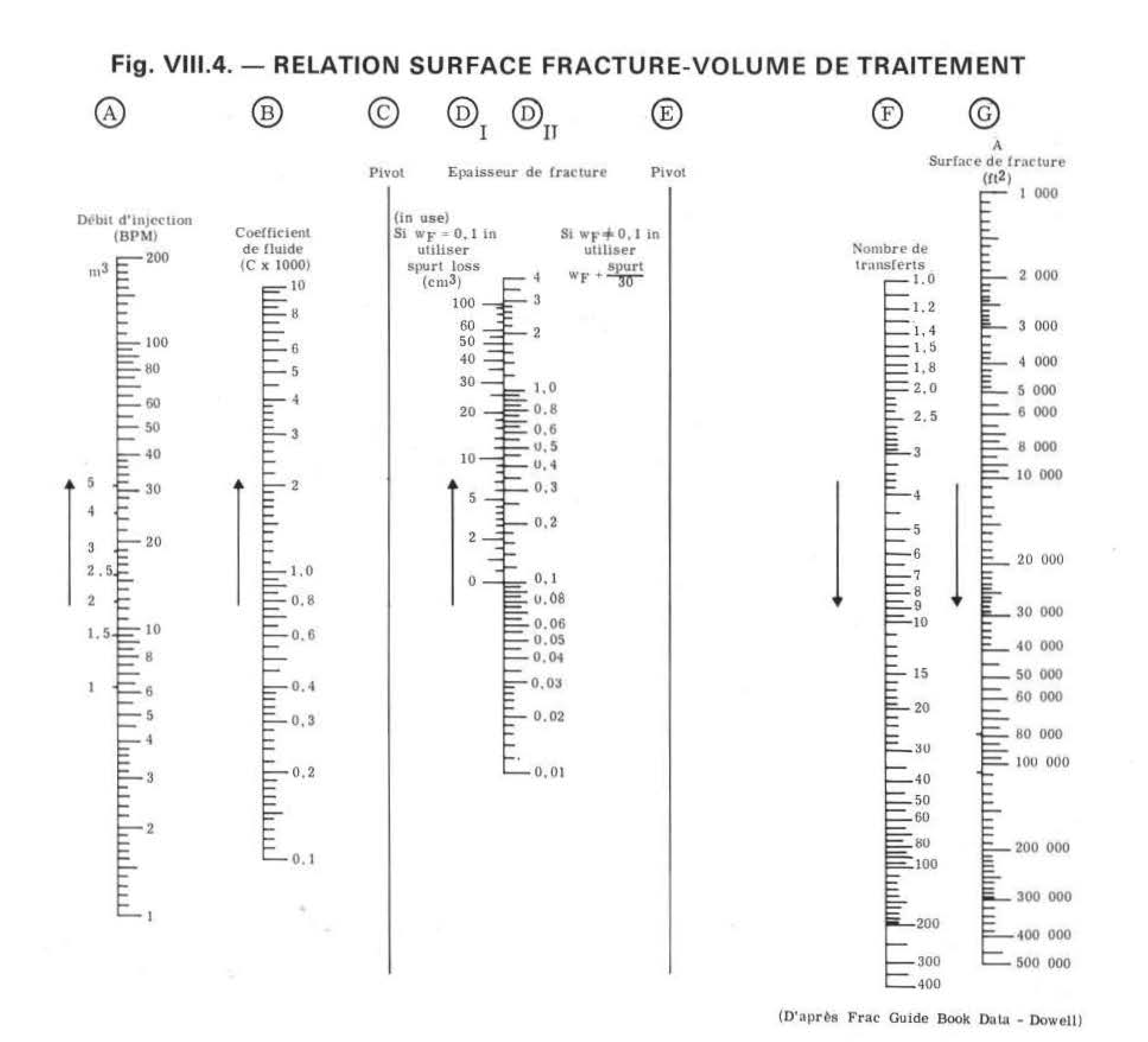
(d'après E.R.A.P. Département Gisements)

Fig. VIII.3. — RELATION SURFACE FRACTURE-VOLUME DE TRAITEMENT



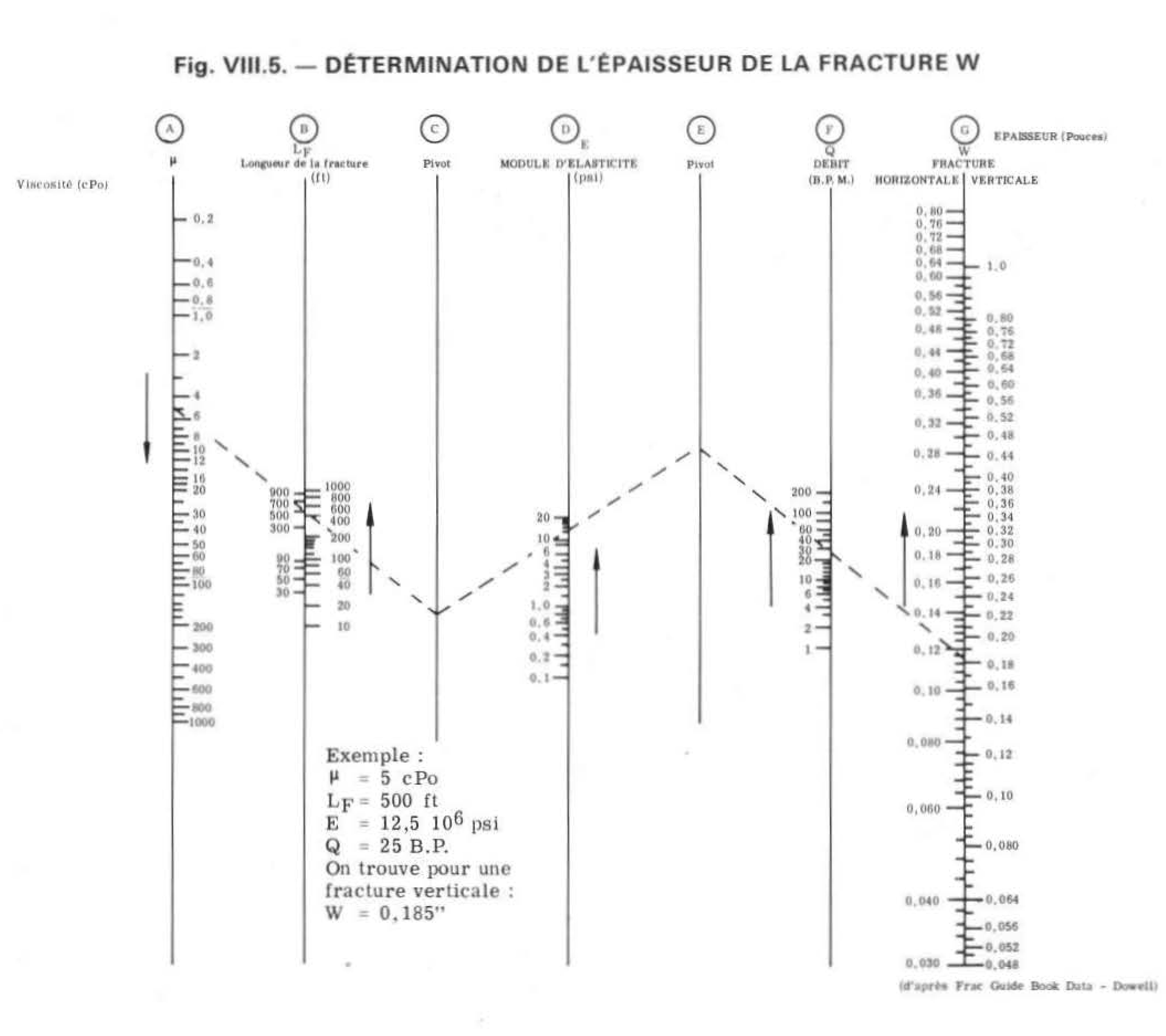
(D'après Frac Guide Book Data - Dowell)

Fig. VIII.4. — RELATION SURFACE FRACTURE-VOLUME DE TRAITEMENT



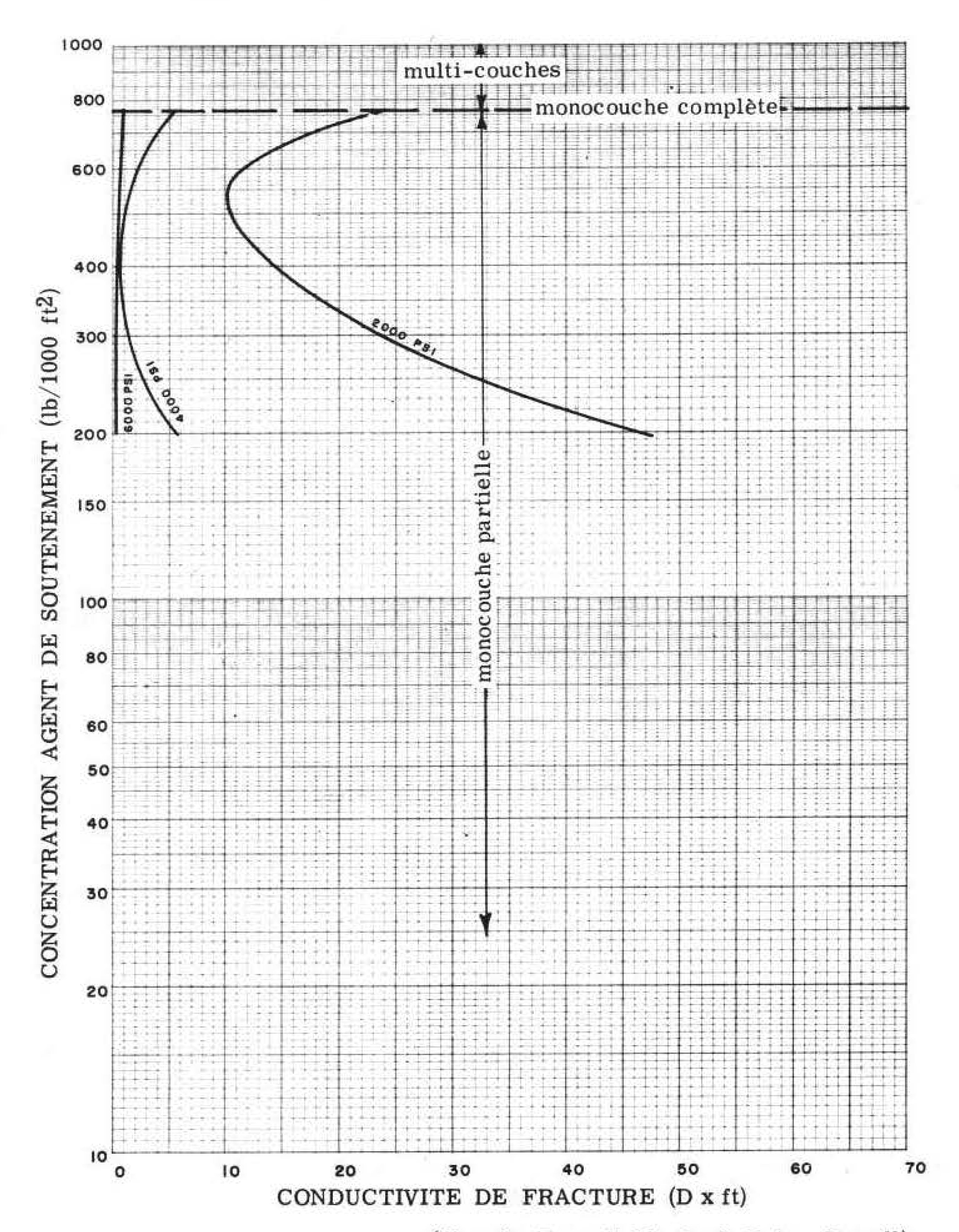
(D'après Frac Guide Book Data - Dowell)

Fig. VIII.5. — DÉTERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DE LA FRACTURE W



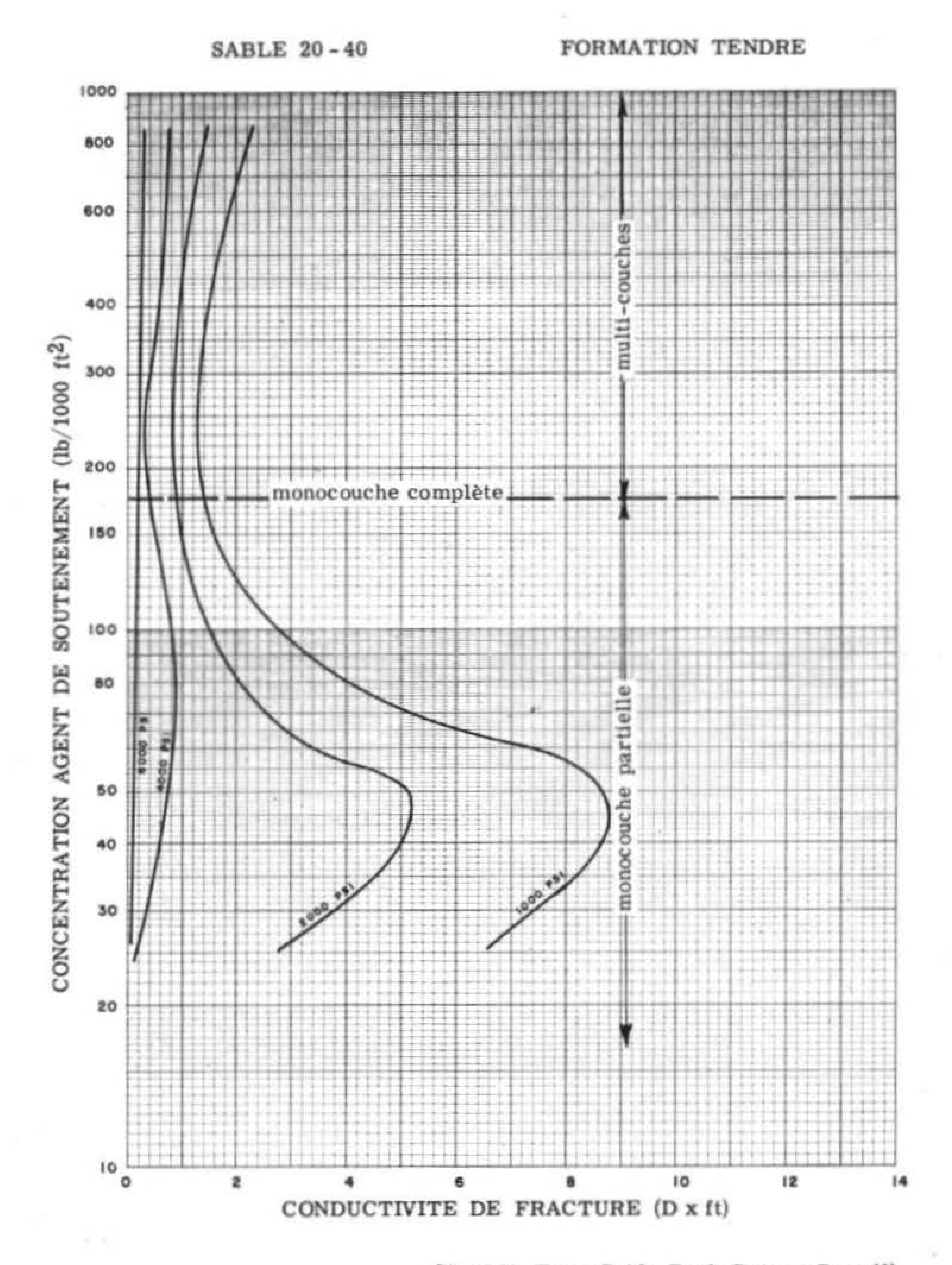
(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

Fig. VIII.6 a. — CONDUCTIVITÉ DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE



(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

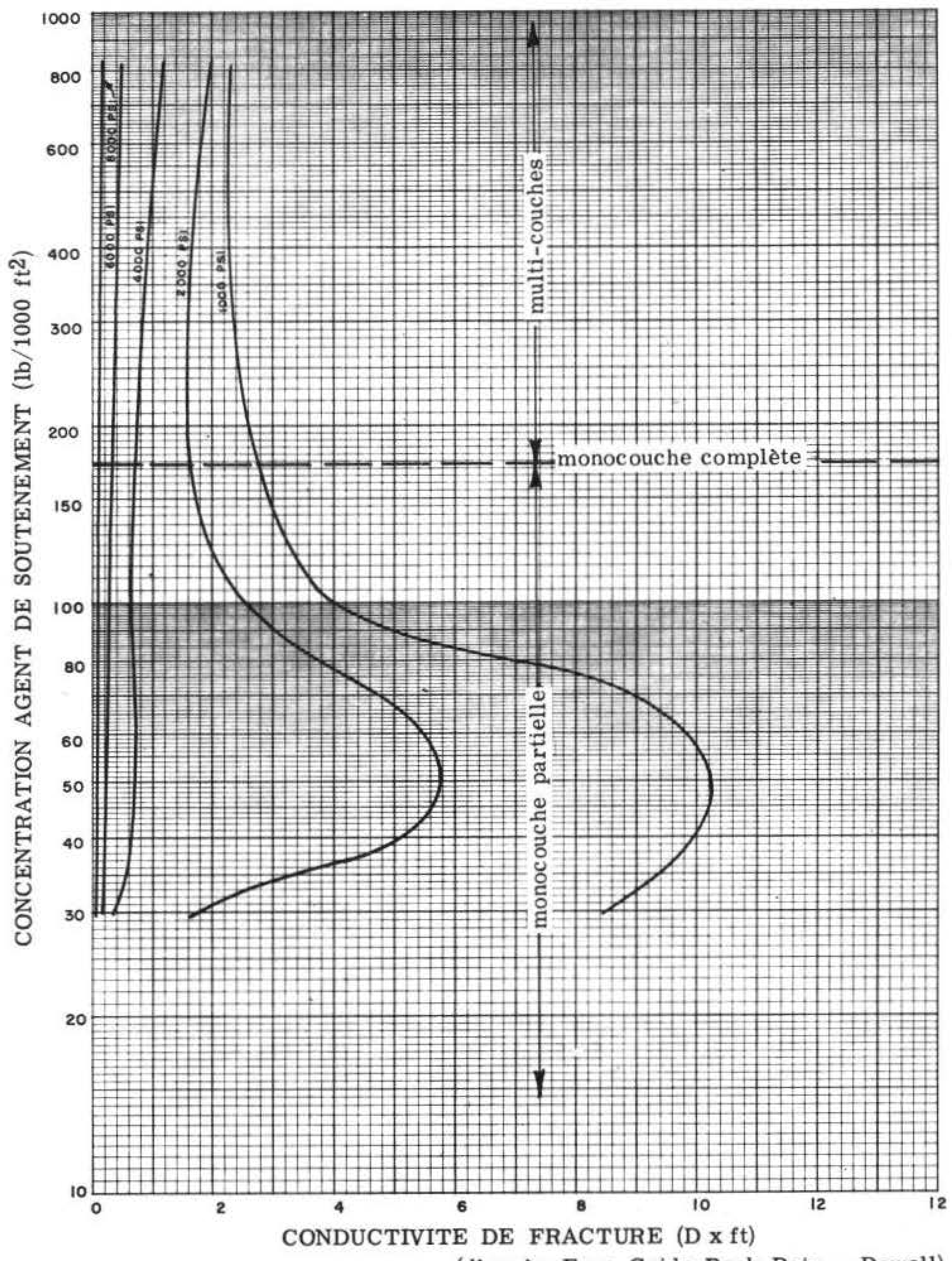
Fig. VIII.6 b. — CONDUCTIVITÉ DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE



(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

Fig. VIII.6 c. — CONDUCTIVITÉ DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE

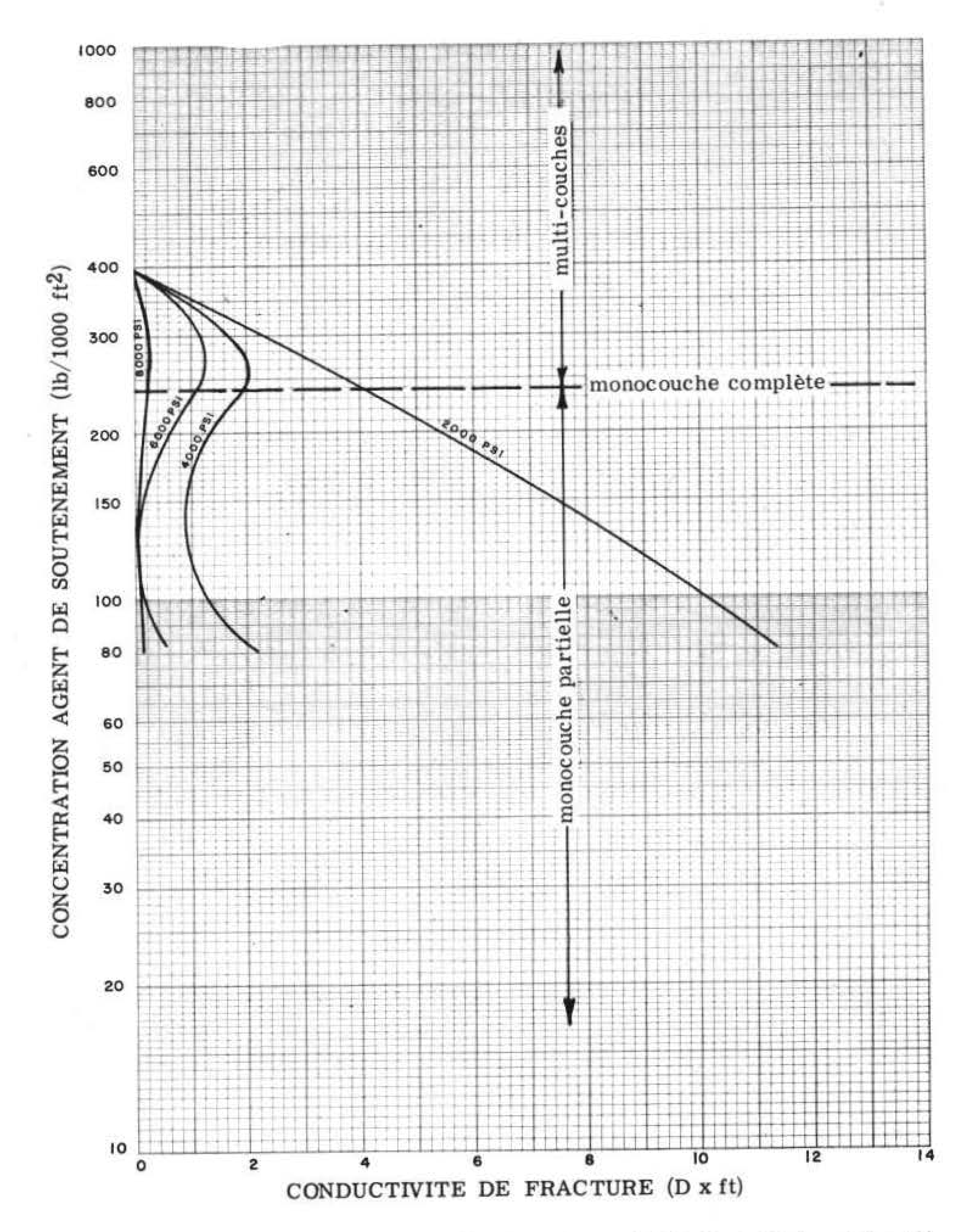
SABLE 20 - 40 FORMATION DURE



(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

Fig. VIII.6 d. — CONDUCTIVITÉ DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE

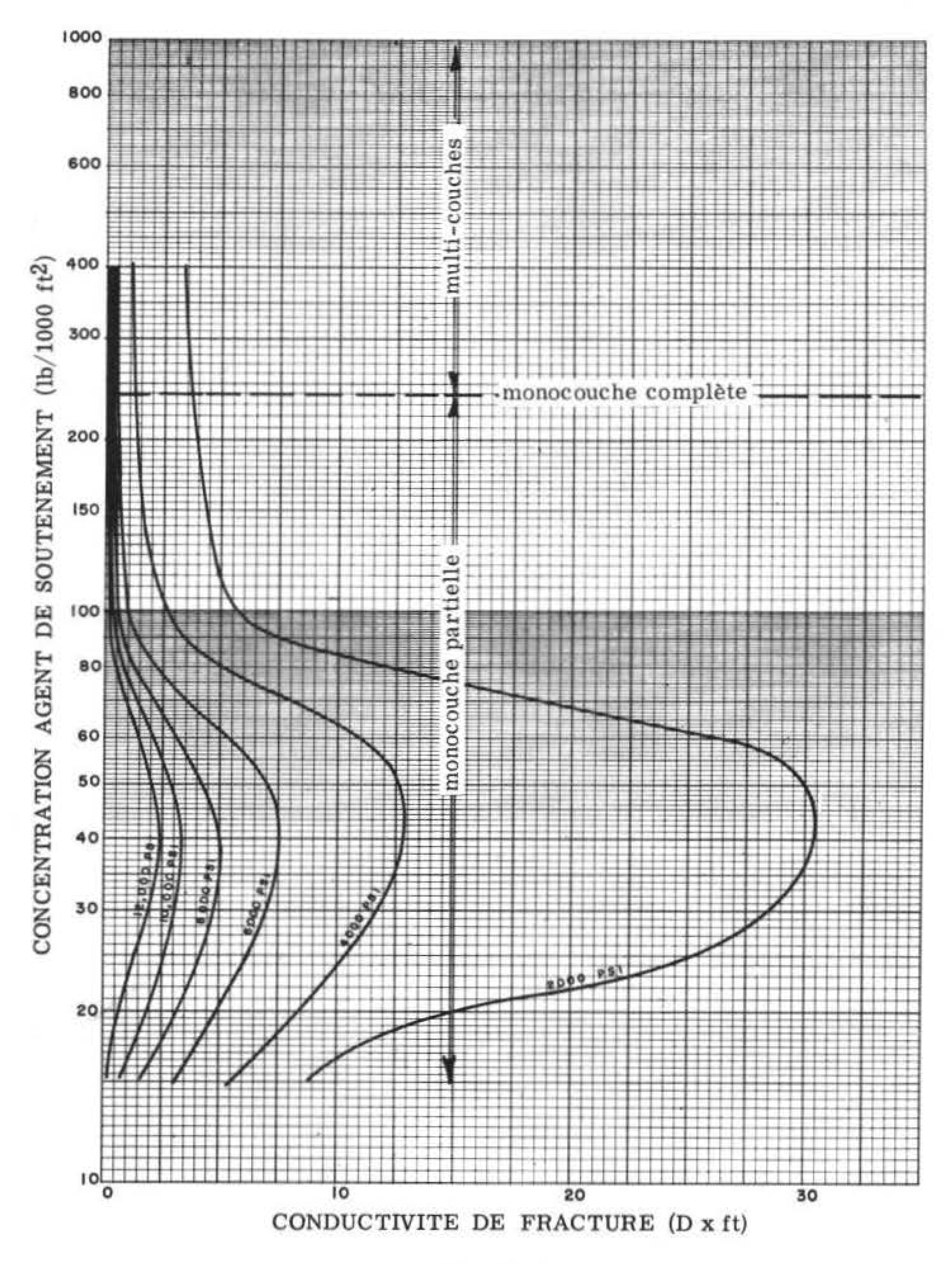
COQUILLES DE NOIX 12 - 20 FORMATION TENDRE



(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

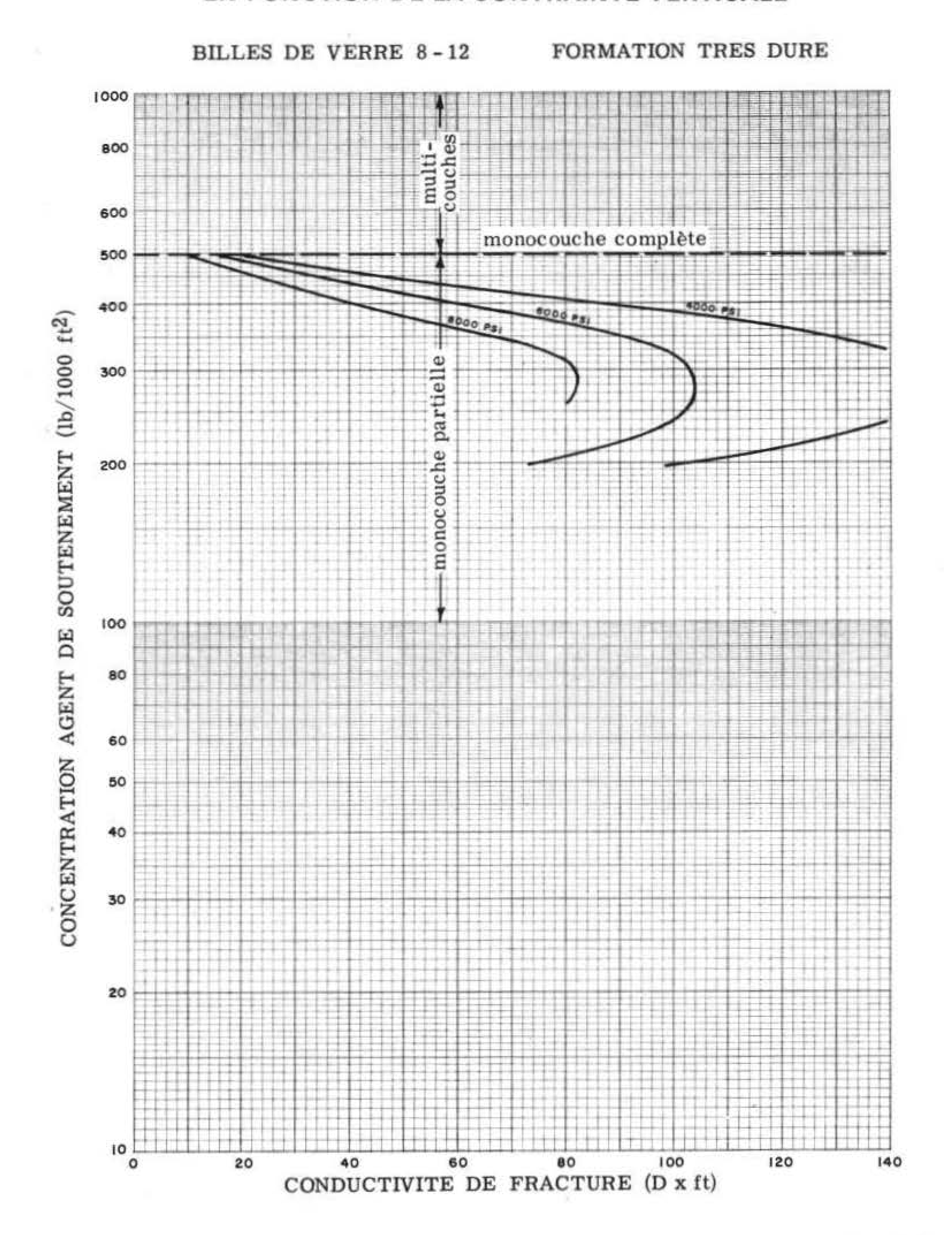
Fig. VIII.6 e. — CONDUCTIVITÉ DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE

COQUILLES DE NOIX 12 - 20 E FORMATION TRES DURE



(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

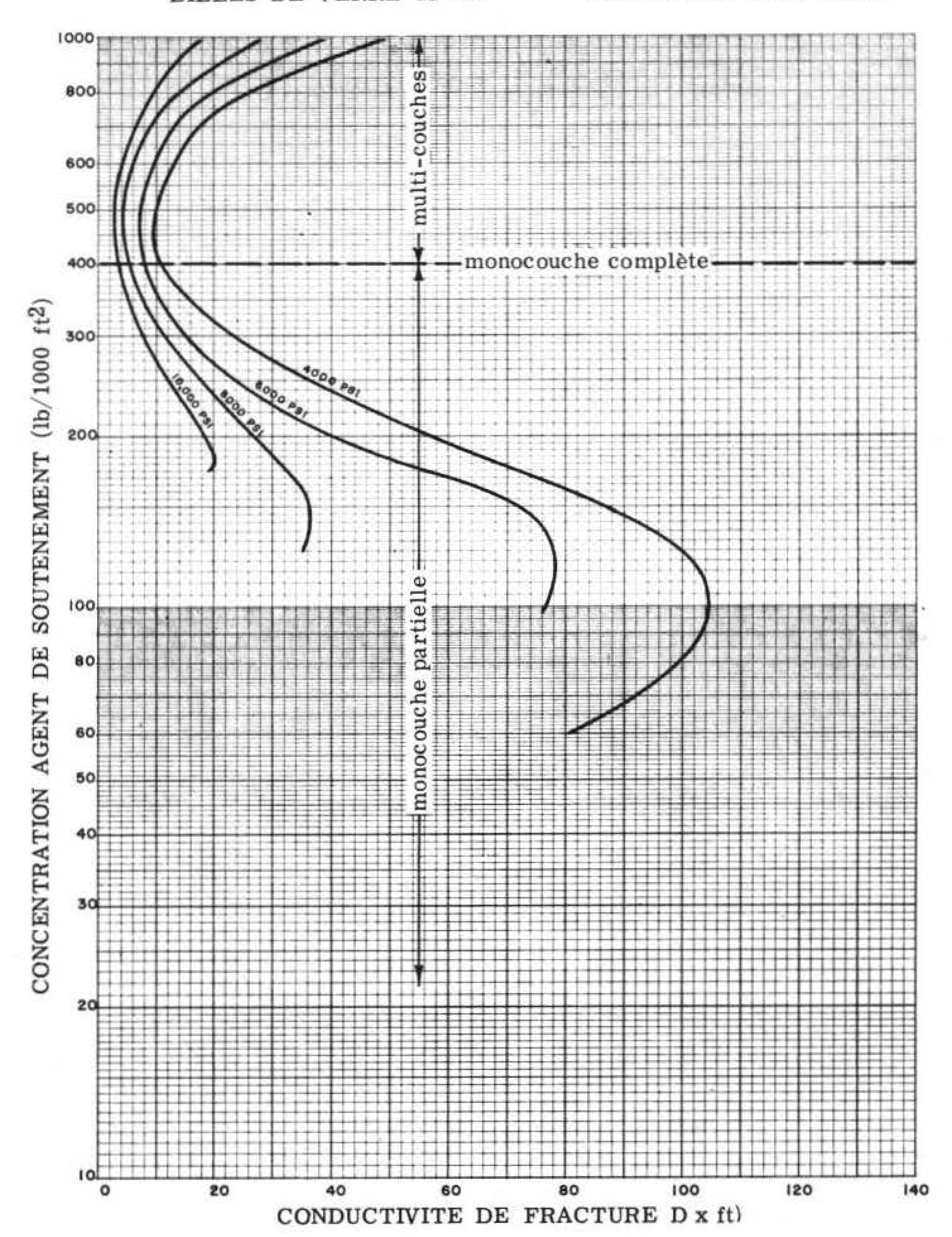
Fig. VIII.6 f. — CONDUCTIVITÉ DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE



(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

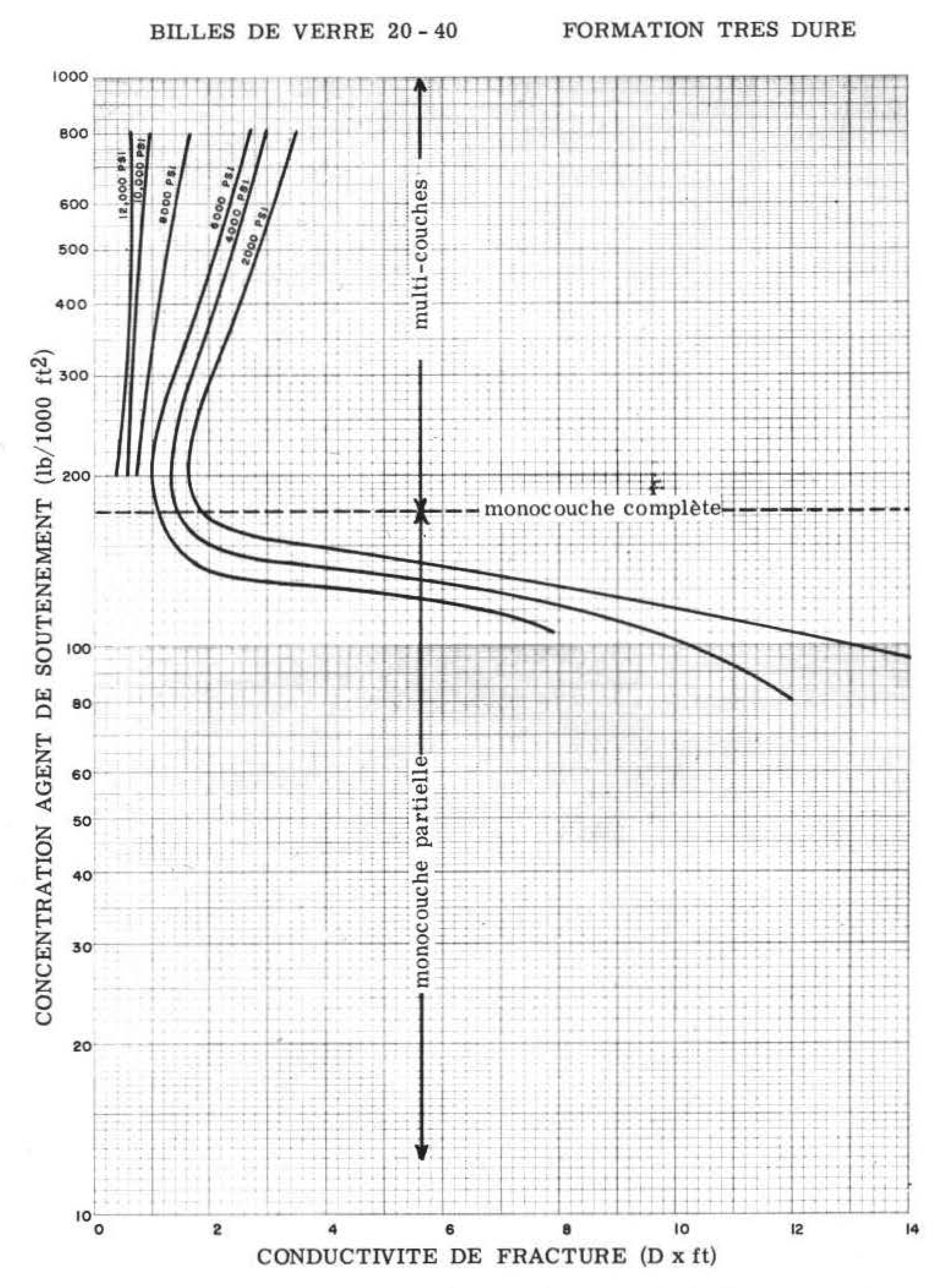
Fig. VIII.6 g. — CONDUCTIVITÉ DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE

BILLES DE VERRE 12 - 20 FORMATION TRES DURE



(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

Fig. VIII.6 h. — CONDUCTIVITÉ DE FRACTURE EN FONCTION DE LA CONTRAINTE VERTICALE



(d'après Frac Guide Book Data - Dowell)

Fig. VIII.7. — AMÉLIORATION DE L'INDEX DE PRODUCTIVITÉ (fracture horizontale)

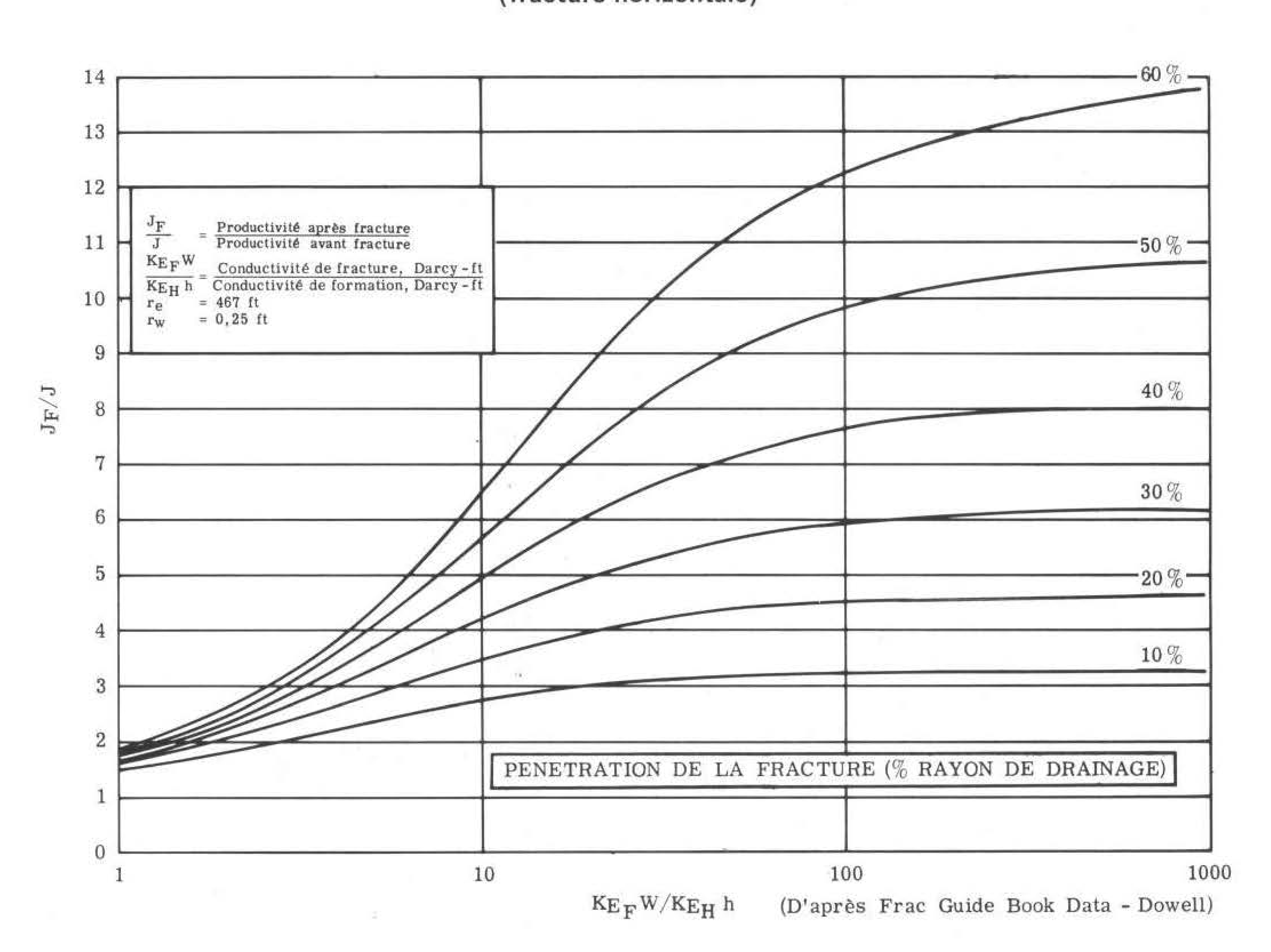
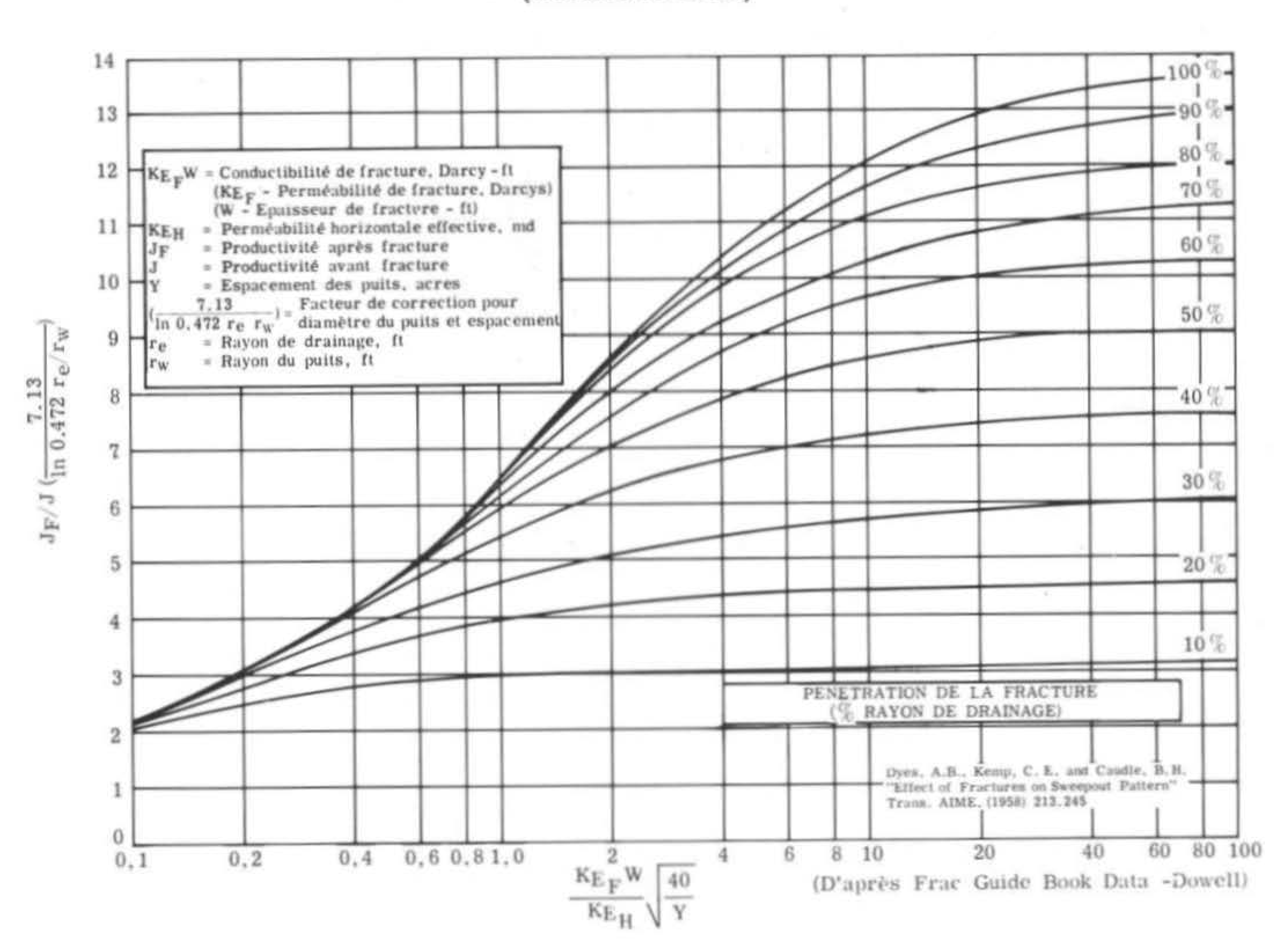


Fig. VIII.8. — AMÉLIORATION DE L'INDEX DE PRODUCTIVITÉ (fracture verticale)

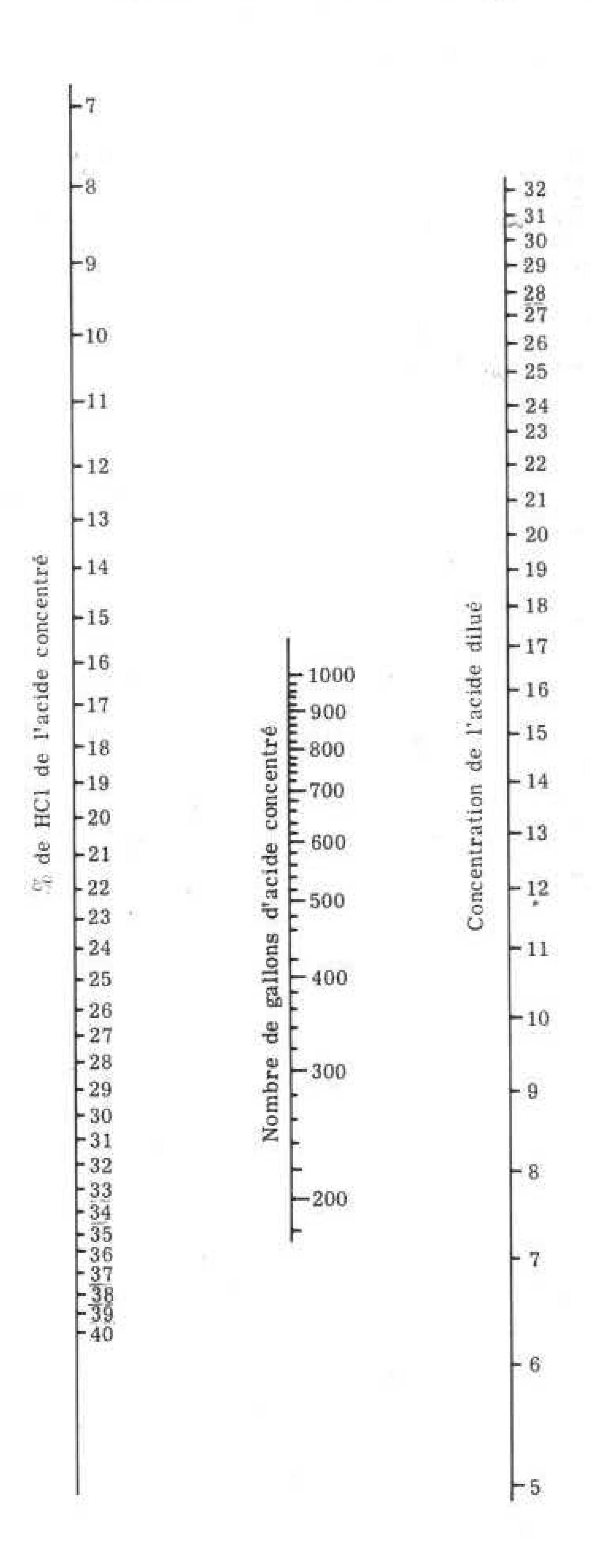


SOLUTIONS D'ACIDE CHLORHYDRIQUE

Degré Baumé à 15°C	% HCl en poids	Densité	Quantité d'acide chlorhydrique en cm^3 à compléter à 1000 cm^3 pour obtenir les concentrations à :				
			5 %	7,5 %	10 %	15 %	20 %
4	5,69	1,028	875				
5	7,15	1,035	694				
6	8,64	1,043	569	864			
7	10,71	1,050	480	728	983		
8	11,71	1,058	414	627	847		
9	13,26	1,066	363	552	743		
10	14,83	1,074	322	489	659		
10,5	15,62	1,078	305	463	625	960	
11	16,41	1,082	289	438	591	908	
11,5	17,21	1,086	274	417	562	863	
12	18,01	1,090	261	397	535	821	
12,5	18,82	1,094	249	378	509	782	
13	19,63	1,098	237	360	486	746	
13,5	20,35	1,102	227	346	466	715	977
14	21,27	1,106	218	337	446	685	935
14,5	22,09	1,111	208	316	425	653	896
15	22,92	1,115	201	304	411	631	861
15,5	23,75	1,119	193	293	395	606	828
16	24,57	2,124	186	282	381	574	797
16,5	25,39	1,128	179	272	367	563	768
17	26,22	1,132	173	262	354	543	741
17,5	27,07	1,137	166	252	341	524	715
18	27,92	1,141	160	243	329	505	688
18,5	28,78	1,146	155	236	318	489	667
19	29,65	1,150	150	228	307	472	645
19,5	30,53	1,155	145	221	298	457	624
20 *	31,45	1,160	140	213	288	442	603
20,5	32,38	1,164	136	206	278	427	584
21	33,31	1,169	132	200	270	414	565
21,5	34,26	1,174	127	194	261	401	547
22	35,21	1,178	123	188	253	388	530
22,5	36,13	1,183	120	181	245	377	514
23	37,14	1,188	116	176	238	365	499
23,5			112	170	230	353	482
24			108	165	222	341	465

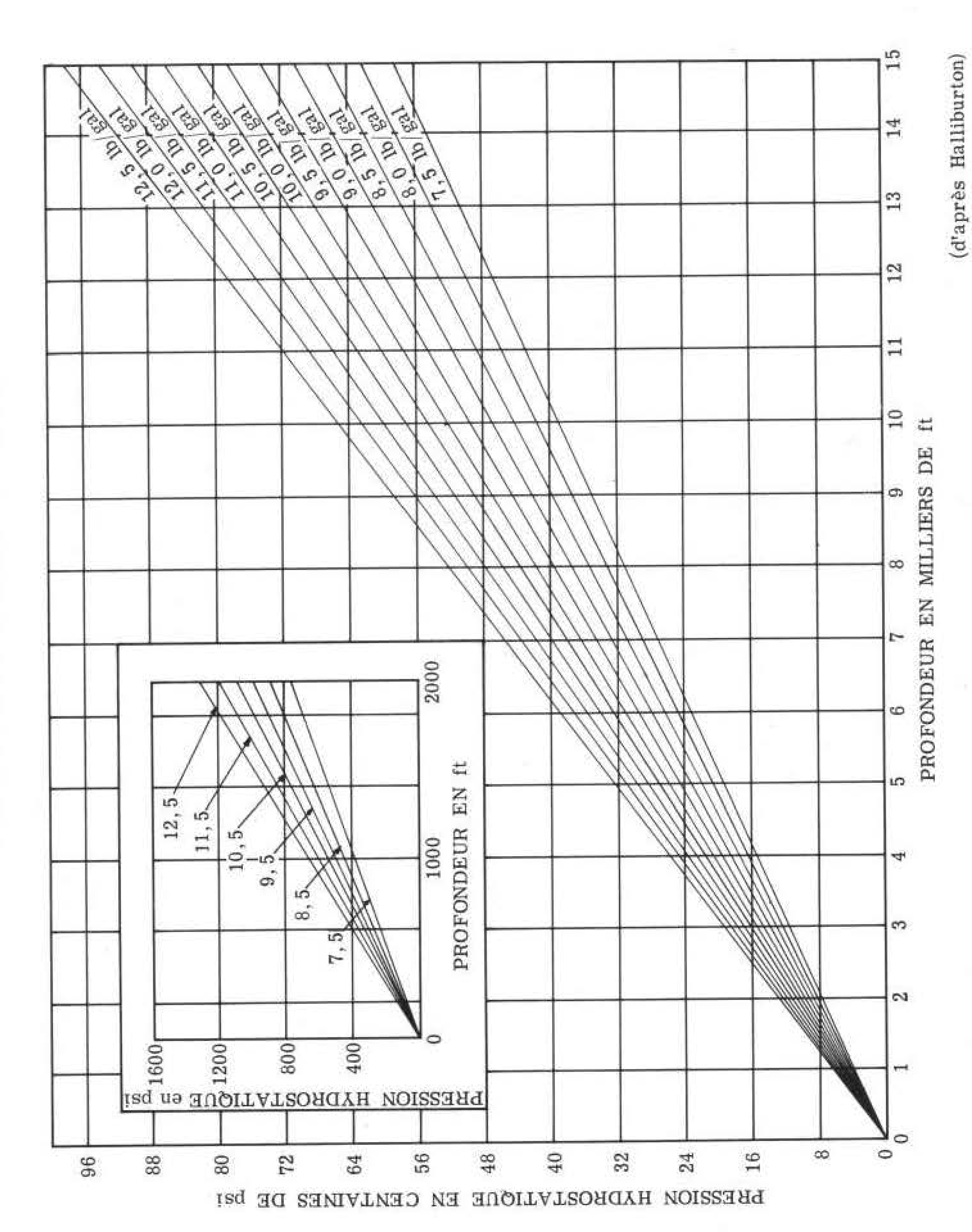
* Acide commercial.

Fig. VIII.9. — DILUTION DE L'ACIDE CONCENTRÉ (NOMBRE DE GALLONS HCl CONCENTRÉ POUR OBTENIR 1000 gal D'ACIDE DILUÉ)



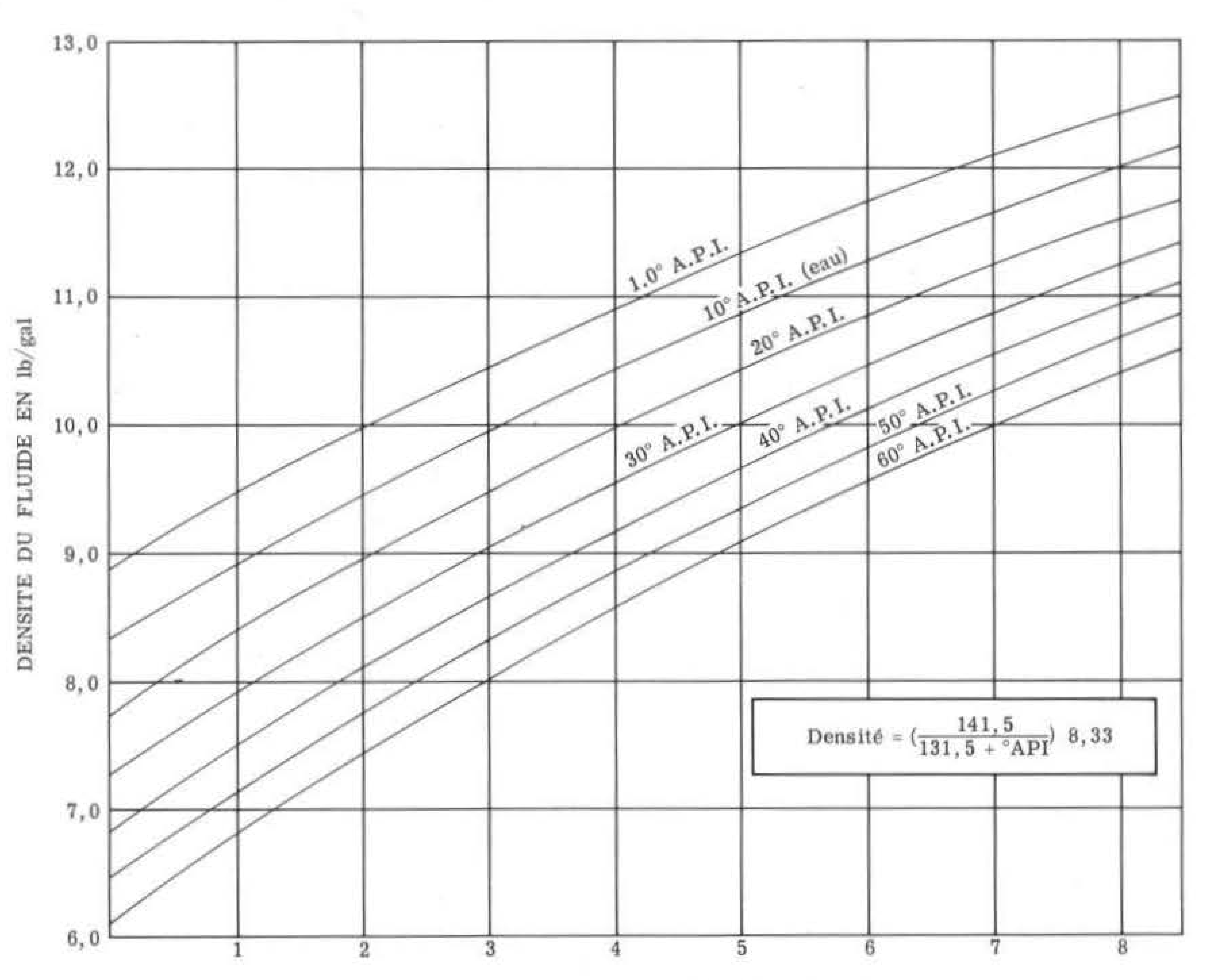
(D'après Frac Guide Book Data - Dowell)

Fig. VIII.10. — PRESSION HYDROSTATIQUE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR



(d'après Halliburton)

Fig. VIII.11. — DENSITÉ EN lb/gal EN FONCTION DE LA CONCENTRATION EN SABLE



CHAPITRE IX

chapitre **IX**

MESURE DES DÉBITS DE GAZ

SOMMAIRE

1. SYSTÈMES DÉPRIMOGÈNES

1.1. Normalisation française AFNOR X 10-101

1.1.1. DESCRIPTION ET NORMALISATION DE L'APPAREIL

Seul le système à diaphragme a été retenu, car il est le plus couramment utilisé dans l'industrie pétrolière. Les autres systèmes employés sont : venturi et tuyère.

1.1.1.1. Diaphragmes

- Orifices en minces parois avec prise de pression en contact de l'orifice.

Voir figure IX.1.

- Conditions d'installation

Les coefficients du présent document ne sont valables que pour des conditions d'installation parfaites.

- L'appareil déprimogène doit être exactement centré dans la conduite.
- Le diaphragme doit être exécuté suivant les proportions données sur la figure IX.1.
- L'appareil déprimogène doit être placé dans une partie rectiligne de la conduite, et de diamètre constant; dans cette zone l'écoulement doit être stable et sans turbulences. La longueur rectiligne amont doit être de vingt fois le diamètre, et l'aval de dix fois le diamètre.
- Les prises de pressions sur chambre annulaires sont impératives pour D > 400 mm surtout si la pression différentielle est faible.

1.1.2. FORMULES DE CALCUL

1.1.2.1. Notations

Conduite

D : diamètre de la conduite en amont du diaphragme;
d : diamètre de la section minimale du diaphragme;
S : section de la conduite en amont;
s : section minimale du diaphragme;
m : rapport des sections $\frac{s}{S} = \frac{d^2}{D^2}$;
E : coefficient de vitesse d'approche :

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - m^2}}$$

Fluide

p_0, t_0 : pression statique absolue et température centésimale en amont de l'appareil ;

p_1, t_1 : pression statique absolue et température à la prise amont de pression différentielle ;

p_2, t_2 : pression statique absolue et température à la prise aval de pression différentielle;

ϖ : poids spécifique dans les conditions p_0, t_0 ;

ρ_0 : masse volumique dans les conditions p_0, t_0 ;

γ : rapport des chaleurs massiques pour les fluides compressibles ;

μ_0 : coefficient de viscosité dynamique du fluide dans les conditions p_0, t_0 ;

ν_0 : coefficient de viscosité cinématique du fluide dans les conditions p_0, t_0 ;

$$\nu_0 = \frac{\mu_0}{\rho_0}$$

Z_0 : facteur de compressibilité aux conditions p_0, t_0 ;

G : densité du gaz par rapport à l'air ;

H : pression différentielle :

$$H = p_1 - p_2$$

V_0 : vitesse moyenne du fluide dans la conduite amont (conditions p_0, t_0) ;

R_D : nombre de Reynolds rapporté au diamètre D de la conduite, pour les conditions V_0, p_0, t_0 :

$$R_D = \frac{V_0\, D}{\nu 0} = \frac{V_0\, D\, \rho_0}{\mu_0}$$

Q : débit massique ;

Q_v : débit volumique ;

Q_p : débit en poids.

Coefficients

C : coefficient de débit ;

J : facteur global de correction :

$$J = J_1 \times J_2 \times J_3$$

J_1 : facteur de correction tenant compte de la viscosité ;

J_2 : facteur de correction tenant compte des influences inconnues : rugosité, effet d'échelle, inégale répartition des vitesses ;

J_3 : facteur de correction tenant compte de la non-acuité de l'arête du diaphragme ;

ε : coefficient de correction pour les fluides compressibles ;

α : C x E

1.1.2.2. Fluides incompressibles

- formule en unités légales (M.K.S.A.) :

$$Q_v = 10\sqrt{10}\,C\,J\,E\,\frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2\,(P_1 - P_2)}{\rho_0}}$$

Q_v : en m^3/s ;
d : en m ;
p : en bar ;
ρ : en kg/m^3.

- formule en unités pratiques :

$$Q_v = 0{,}18988 \prec J\,d^2\,\sqrt{H}\,\sqrt{\frac{1}{\rho_0}}$$

Q_v : en m^3/h (conditions standards 15°C, 750 mm de Hg) ;
d : en mm ;
H : en mm d'eau ;
ρ : en g/l

1.1.2.3. Fluides compressibles

- formule en unités légales (M.K.S.A.) :

$$Q_v = 100\sqrt{10}\,C\,J\,E\,\varepsilon\,\frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2\,(p_1 - p_2)}{\rho_0}}$$

Q_v : en m^3/s ;
d : en m ;
p : en bar ;
ρ : en kg/m^3.

- formule en unités pratiques

$$Q_v = 0{,}18988 \prec J\,\varepsilon\,d^2\,\sqrt{H}\,\sqrt{\frac{p_0}{Z_0\,T_0\,G}}$$

Q_v : en m^3/h (conditions standards 15°C, 750 mm de Hg) ;
d : en mm ;
H : en mm d'eau ;
p : en bar ;
T : en °K (absolue).

1.1.3. DETERMINATION DES COEFFICIENTS PROPRES A L'ORIFICE

Figure IX.2 : Courbe donnant le coefficient $\alpha = C\,E$, en fonction de m ;

Figures IX.3, IX.4, IX.5 : Courbes donnant les coefficients J_1, J_2, J_3, en fonction de m;

Figure IX.6 : Courbe donnant le coefficient ε en fonction de $(\frac{p_2}{p_1})\frac{1}{\gamma}$ et de m ;

γ : rapport des chaleurs spécifiques, est une valeur déterminée par les études P.V.T. ; Pour les gaz naturels elle varie de 1,2 à 1,6; si elle n'est pas connue exactement, prendre 1,4 valeur moyenne. L'erreur maximale que l'on peut introduire, en utilisant cette valeur moyenne, pour un rapport m = 0,5 est de 0,01 sur ε.

1.1.4. DETERMINATION DES FACTEURS PROPRES AUX FLUIDES

Viscosité des gaz en fonction de la densité, de la pression et de la température.

Voir figure II.7, chapitre II.

Facteur de compressibilité des gaz en fonction des pressions et températures pseudo-réduites.

Voir figure II.3, chapitre II.

Pressions et températures pseudo-critiques en fonction de la densité du gaz par rapport à l'air et de la masse moléculaire.

Voir figure II.6, chapitre II.

1.1.5. VALEURS LIMITES INFERIEURES DU NOMBRE DE REYNOLDS, en fonction de m, pour lesquelles les coefficients précédents sont applicables (tableau des valeurs : Tableau I).

TABLEAU I. VALEURS LIMITES INFÉRIEURES DU NOMBRE DE REYNOLDS POUR LES DIAPHRAGMES NOUVEAUX ISA 1932

$m = \frac{d^2}{D^2}$	Valeurs limites de R_D
0,05	28 000
0,1	36 000
0,2	75 000
0,3	135 000
0,4	200 000
0,5	330 000
0,6	530 000
0,7	1 100 000

1.2. Normalisation américaine

(Gaz Measurement Committee Report N° 3 A.G.A. 4/55)

1.2.1. DESCRIPTION ET NORMALISATION DE L'APPAREILLAGE

1.2.1.1. Prise de pression au voisinage de l'orifice (Flange taps)

Voir Figure IX.7.

La normalisation américaine impose les prises de pression à 1" de part et d'autre du diaphragme.

1.2.1.2. Prise de pression à grande distance de l'orifice (Pipe taps)

Voir Figure IX.8.

La normalisation américaine impose la prise de pression amont à 2,5 D du diaphragme et la prise de pression aval à 8 D.

Les normes américaines précisent aussi les longueurs rectilignes minimales amont et aval, dans chaque cas de montage, en fonction des dispositions, orientations et nombre de coudes, vannes et rétreints sur la conduite. Il n'existe pas de relation simple pour déterminer ces longueurs, se reporter aux tableaux de la norme pour les détails d'installation.

Les recommandations générales d'installation sont les mêmes que dans les normes françaises.

1.2.2. FORMULES

1.2.2.1. Fluides compressibles

- formule en unités américaines :

$$Q_v = 218,44 \ d^2 \ K \frac{T_b}{P_b} \sqrt{\frac{h_w \ P_0}{T_0 \ Z_0 \ G}}$$

Q_v : en cubic feet par heure (cu.ft/h) ;

d : en pouce ;

T_b : température absolue de référence en °R (°F + 460) ;

P_b : pression absolue de référence en psia;

h_w : pression différentielle en pouces d'eau ;

P_0 : en psia ;

T_0 : en °R ;

G : densité du gaz par rapport à l'air ;

K : coefficient global d'orifice.

- formule transposée en unités pratiques françaises :

$$Q_v = 0,18943\ d^2\ K \sqrt{\frac{h_w\ P_0}{T_0\ Z_0\ G}}$$

Q_v : en m^3/h (aux conditions standards 15°C, 750 mm de Hg);

d : en mm ;

h_w : en mm d'eau ;

P_0 : en bar ;

T : en °K.

1.2.3. DETERMINATION DES COEFFICIENTS PROPRES A L'ORIFICE

Pour des facilités de calcul le coefficient K est mis sous la forme d'un produit de trois facteurs : K_0, F_r et Y.

K_0 : coefficient de décharge ne dépendant que de la conduite et du diaphragme et incluant la vitesse d'approche (comparable à α de la norme AFNOR). Ce coefficient est différent suivant le type de prise de pression, flange taps ou pipe taps.

Figure IX.9 : Courbe donnant K_0 en fonction de $\frac{d^2}{D^2}$, pour différents diamètres de conduites, dans le cas des "flange taps".

Figure IX.10 : Courbe donnant K_0 en fonction de $\frac{d^2}{D^2}$, pour différents diamètres de conduites, dans le cas de "pipe taps".

Ce coefficient K_0, contrairement au coefficient α (AFNOR) varie avec le diamètre D de la conduite, toutefois cette variation est très faible pour les diamètres courants de 2" à 6", et pour des rapports $\frac{d^2}{D^2}$ inférieur à 0,5

F_r : est donné par la relation :

$$F_r = 1 + \frac{E}{R_d}$$

où E est un coefficient fonction de $\frac{d^2}{D^2}$ et dépendant de D, il est donné par une courbe (fig. IX.11).

R_d est le nombre de Reynolds dans les conditions de l'orifice.

Pour les gaz naturels, F_r est donné par la formule empirique :

$$F_r = 1 + \frac{b}{\sqrt{h_w\ P_f}}$$

h_w en mm d'eau et P_f en bar.

formule valable pour un gaz aux conditions suivantes :

G = 0,65 ;
μ = 0,0103 ;
T = 15°C.

Le coefficient b fonction de d, et dépendant de D est donné par une courbe figure IX.12.

Si les caractéristiques du gaz et les conditions de température sont différentes, le coefficient b sera corrigé par le facteur :

$$4,618\ \mu_p \sqrt{\frac{T_f}{G}}$$

Y : coefficient d'expansion, déterminé empiriquement, il est donné par des courbes (fig. IX.13 et IX.14) en fonction de $\frac{h_w}{P_0}$ et pour différentes valeurs de $\frac{d^2}{D^2}$, et pour les deux types de débitmètres "flange taps" et "pipe taps".

1.2.4. DETERMINATION DES FACTEURS PROPRES AUX FLUIDES

Voir paragraphe 1.1.4.

1.3. Comparaison des deux normes

La comparaison directe des deux formules, en unités pratiques, tirées de la norme AFNOR, et de la norme américaine, permet de déterminer les domaines où les deux normes sont applicables indifféremment.

formule française :

$$Q_v = 0,18988\ \alpha\ J\ \varepsilon\ d^2 \sqrt{\frac{H\ P_0}{T_0\ Z_0\ G}}$$

formule américaine (flange taps) :

$$Q_v = 0,18943\ K_0\ F_r\ Y\ d^2 \sqrt{\frac{h_w\ P_0}{T_0\ Z_0\ G}}$$

En considérant que les deux constantes numériques sont égales, elles ne varient que de $\frac{45}{100\ 000}$, il suffit de comparer les coefficients :

$$\alpha \longrightarrow K_0$$
$$J \longrightarrow F_r$$
$$\varepsilon \longrightarrow Y$$

Nous prendrons comme limite de comparaison m = 0,5 car les normes américaines ne donnent en général pas de valeurs de coefficients pour m > 0,5

α et K_0 : l'écart maximal, pour m = 0,5, est de 0,02; pour m = 0,3 l'écart est de 0,002;

J et F_r : l'écart maximal, pour m = 0,5, est de 0,03; pour m = 0,3 l'écart est de 0,01;

ε et Y : l'écart moyen calculé pour divers cas est de 0,04.

Donc l'erreur maximale que l'on peut introduire sur les coefficient en utilisant la formule de calcul française, pour un débitmètre américain (flange taps), est de 0,09.

1.4. Écoulement critique

1.4.1. MESUREUR A DEBIT CRITIQUE (CRITICAL FLOW PROVER)

1.4.1.1. Description et domaine d'application

L'écoulement est dit critique lorsque la vitesse du fluide au droit de l'organe déprimogène, atteint la vitesse du son; qui est une vitesse limite dans ce cas.

Une méthode de mesure des débits de gaz est basée sur cet écoulement critique, qui peut être obtenue, si le gaz est directement rejeté à l'atmosphère après la mesure ou dans une vaste enceinte à faible pression. En fait on considère que pour obtenir un écoulement critique la pression amont doit être au moins le double de la pression aval.

L'appareillage de mesure est semblable à celui utilisé dans les autres méthodes, mais seule la prise de pression amont est utile, et une prise de température amont est indispensable.

1.4.1.2. Formule de calcul

a) en unités américaines :

$$Q_V = \frac{C\ P_0}{\sqrt{G\ T_0}}$$

Q_V : en Mcu.ft/j (conditions : 14,4 psia et 60°F) ;

P_0 : en psia ;

T_0 : en °R (°F + 460) ;

G : densité du gaz par rapport à l'air ;

C : coefficient d'orifice.

b) en unités françaises :

$$Q_V = 12,7499 \frac{C\ P_0}{\sqrt{G\ T_0}}$$

Q_V : en m^3/h (conditions standards 15°C, 750 mm de Hg) ;

P_0 : en bar ;

T_0 : en °K (absolue).

Tableau II : Tableau donnant les valeurs du coefficient C, en fonction du diamètre de l'orifice, pour différents diamètres de conduites.

TABLEAU II VALEURS DU CŒFFICIENT C APPLICABLE A LA FORMULE DE "CRITICAL FLOW PROVER"

Diamètre orifice			Valeur de C		
(pouce)		(mm)	conduite 2"	conduite 4"	Choke nipple duses
1/16	0,063	1,59	1,524	-	-
3/32	0,094	2,38	3,355	-	-
1/8	0,125	3,175	6,301	-	6,25
3/16	0,188	4,76	14,47	-	14,44
7/32	0,218	5,56	19,97	-	-
1/4	0,250	6,35	25,86	24,92	26,51
5/16	0,313	7,94	39,77	-	43,64
3/8	0,375	9,525	56,58	56,01	61,21
7/16	0,438	11,11	81,09	-	85,13
1/2	0,500	12,70	101,8	100,2	112,72
5/8	0,625	15,875	154,0	156,1	179,74
3/4	0,750	19,05	224,9	223,7	260,99
7/8	0,875	22,225	309,3	304,2	-
1	1,000	25,40	406,7	396,3	-
1 1/8	1,125	28,60	520,8	499,2	-
1 1/4	1,250	31,70	657,5	616,4	-
1 3/8	1,375	34,90	807,8	742,1	-
1 1/2	1,500	38,10	1 002,0	884,3	-
1 3/4	1,750	44,40	-	1 208	-
2	2,000	50,80	-	1 596	-
2 1/4	2,250	57,10	-	2 046	-
2 1/2	2,500	63,50	-	2 566	-
2 3/4	2,750	69,80	-	3 177	-
3	3,000	76,20	-	3 904	-

1.4.2. EXTENSION A DES ORIFICES NON EN MINCES PAROIS

La formule utilisée pour le calcul du débit par la méthode "Critical Flow Prover", s'applique aux orifices tels que les duses. Le précédent tableau donne d'ailleurs les valeurs de coefficient C pour des duses de différents diamètres.

Il est aussi possible d'utiliser la formule suivante, pour les duses; en écoulement critique :

$$Q = 29,5\ A\ P_1$$

Q : débit en Mcu.ft/j ;

A : section de la duse en sq.in ;

P_1 : pression amont en psia ;

29,5 : coefficient tenant compte du coefficient d'orifice (0,865), d'une densité égale à 0,6 et d'une température de 520°R soit 60°F.

Si G et T sont différents on peut appliquer le coefficient de correction suivant :

Fig. IX.1. — DIAPHRAGME NORMAL ISA 1932
(sens du courant de gauche à droite)
L'angle θ doit être aussi petit que possible. Les divers éléments de cette figure ne sont pas à la même échelle

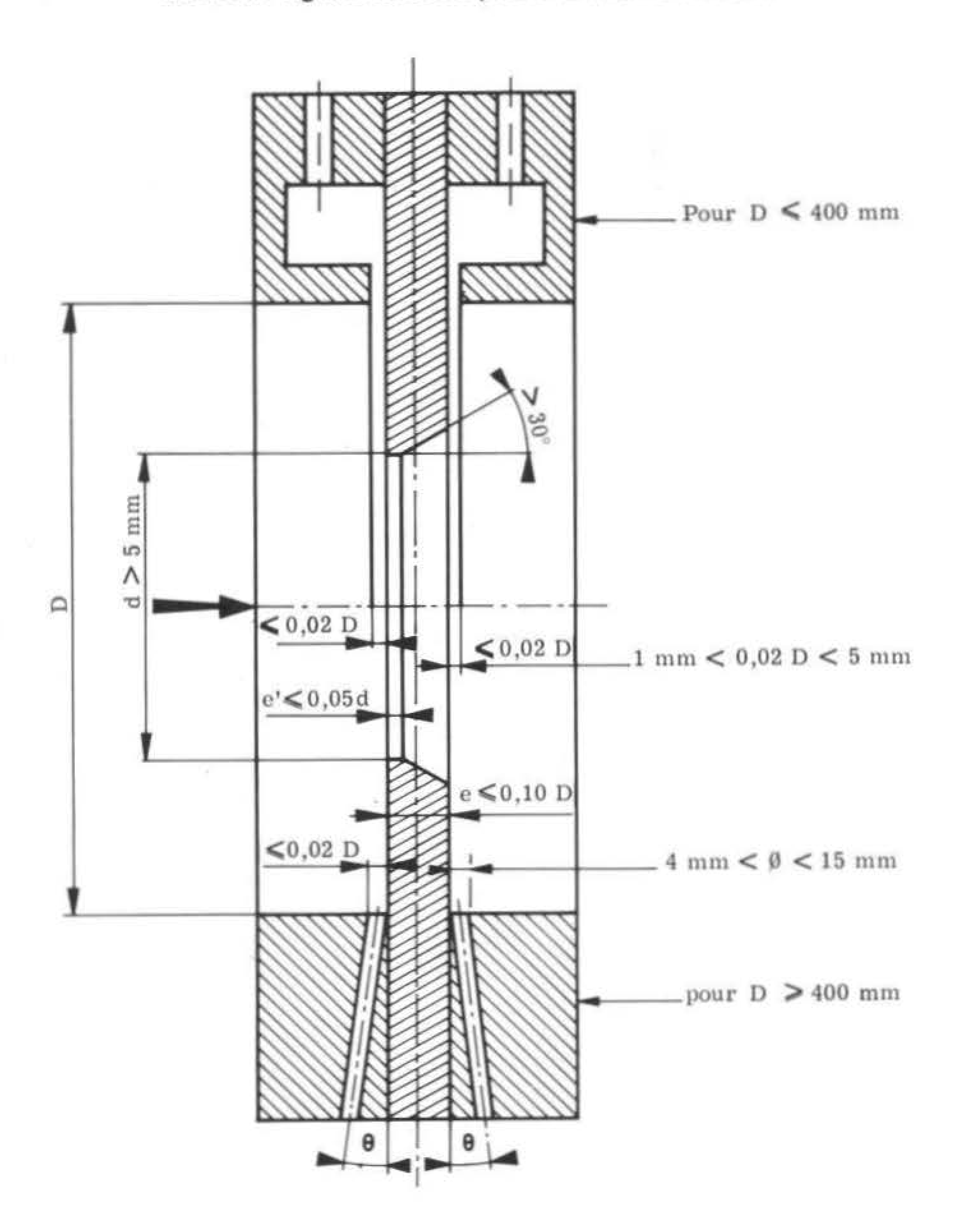


Fig. IX.2. — COEFFICIENT CE = α DU DIAPHRAGME NORMAL ISA 1932
EN FONCTION DU RAPPORT DES SECTIONS m
POUR UN NOMBRE DE REYNOLDS SUFFISAMMENT GRAND

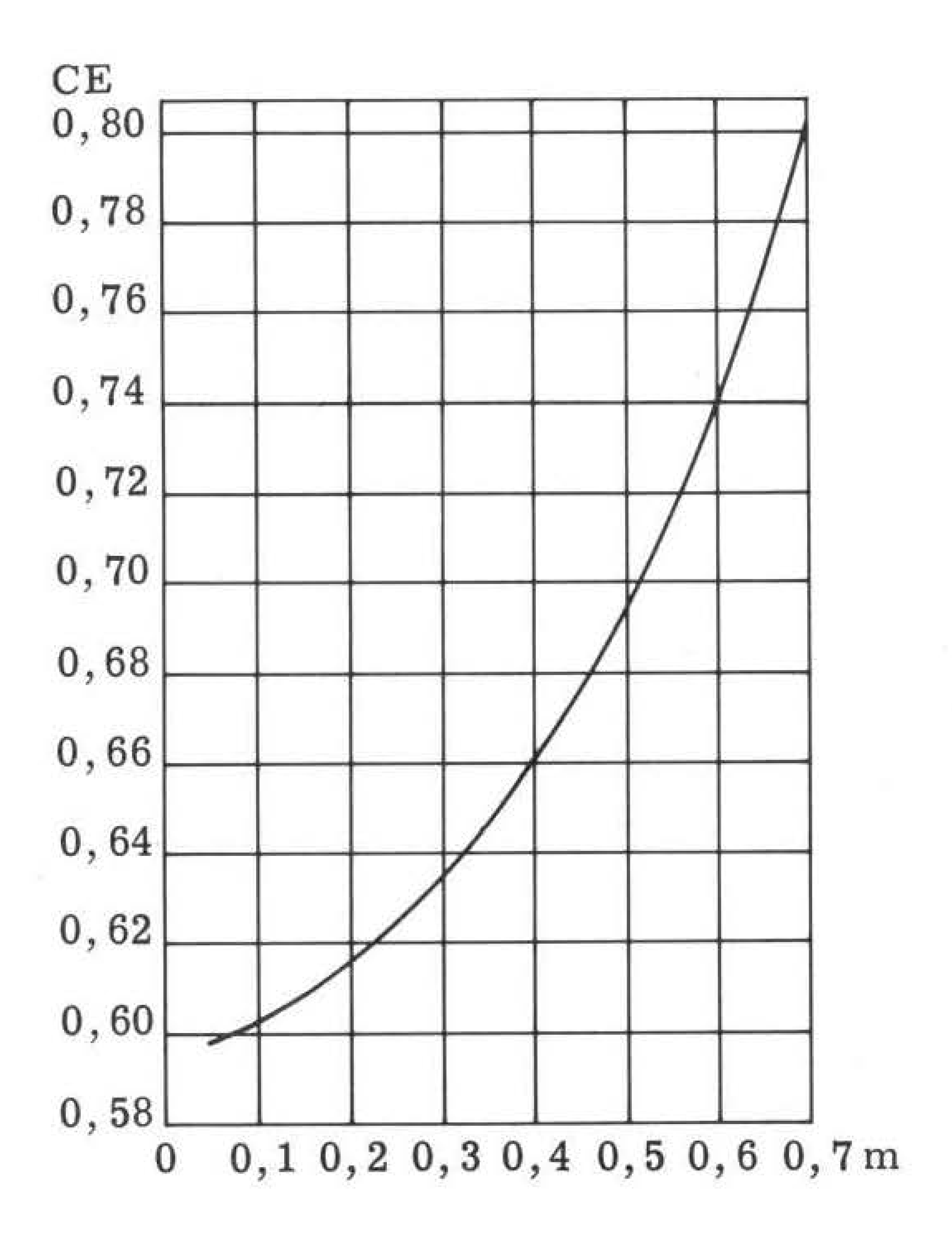


Fig. IX.3. — FACTEUR J_1
(DONNÉ EN FONCTION DU NOMBRE DE REYNOLDS ET DE m)
PAR LEQUEL IL FAUT MULTIPLIER C
POUR TENIR COMPTE DE LA VISCOSITÉ
AUX FAIBLES NOMBRES DE REYNOLDS

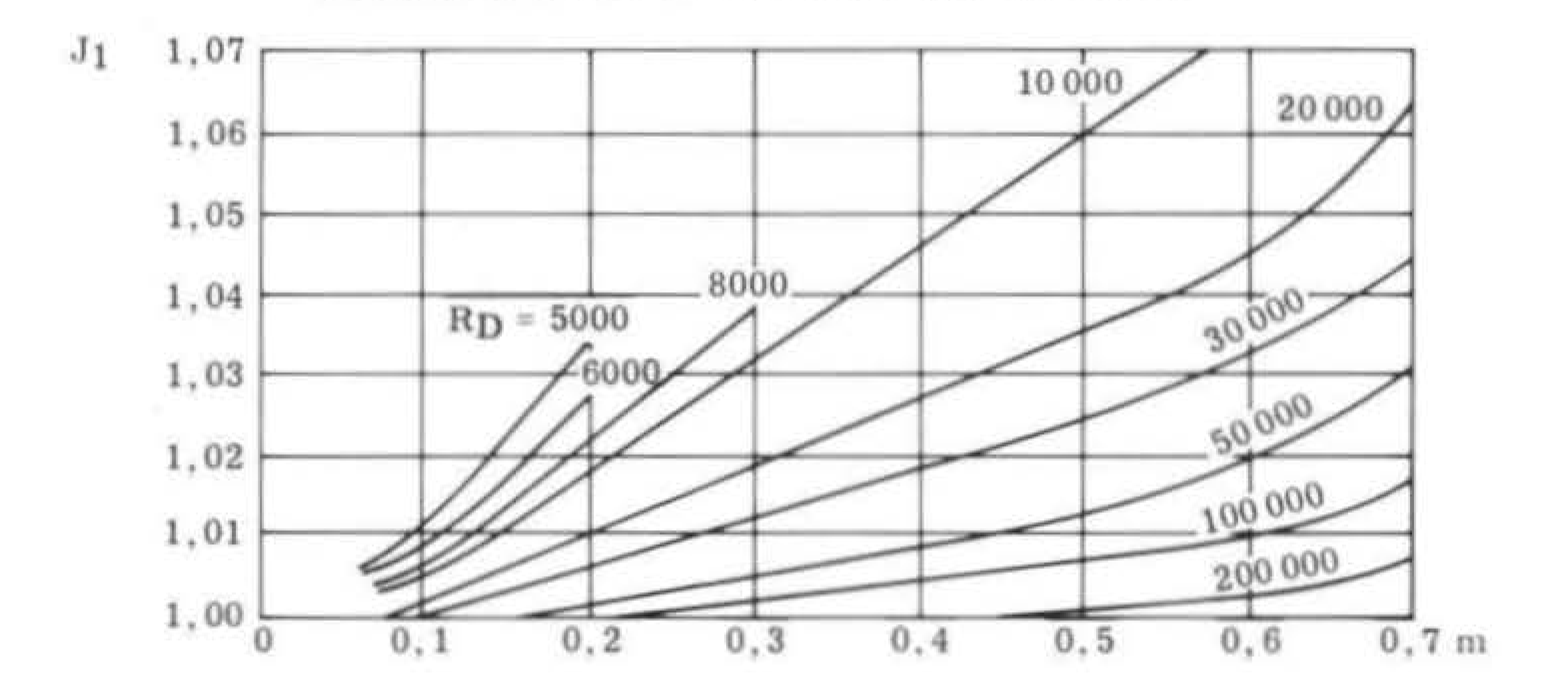


Fig. IX.4. — FACTEUR J_2
PAR LEQUEL IL FAUT MULTIPLIER LE COEFFICIENT C
POUR TENIR COMPTE DE L'INFLUENCE DE LA RUGOSITÉ
ET DE L'EFFET D'ÉCHELLE

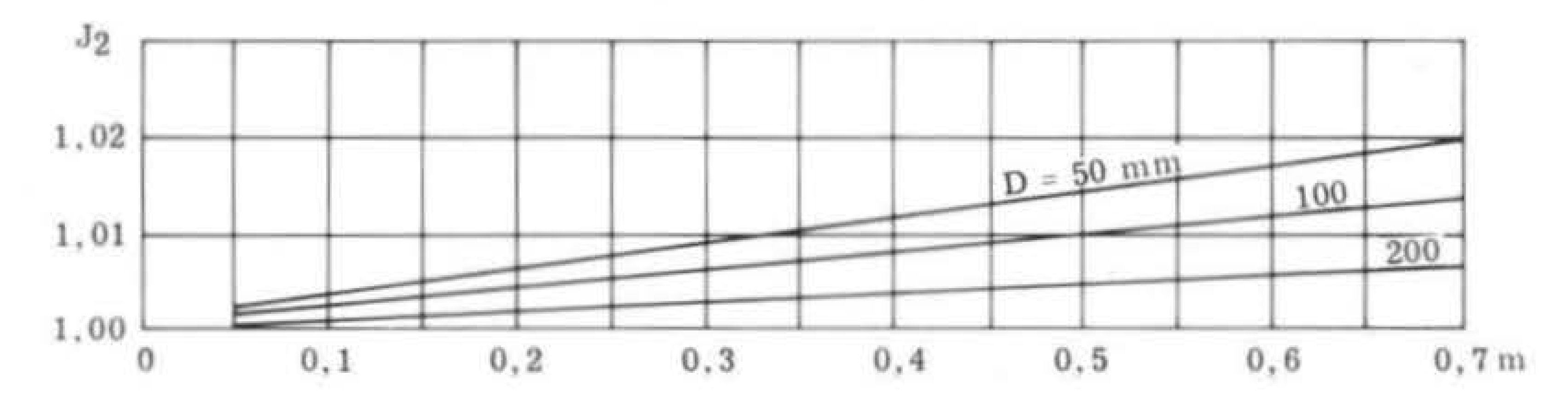


Fig. IX.5. — FACTEUR J_3
PAR LEQUEL IL FAUT MULTIPLIER LE COEFFICIENT C
POUR TENIR COMPTE DE LA NON-ACUITÉ DE L'ARÊTE

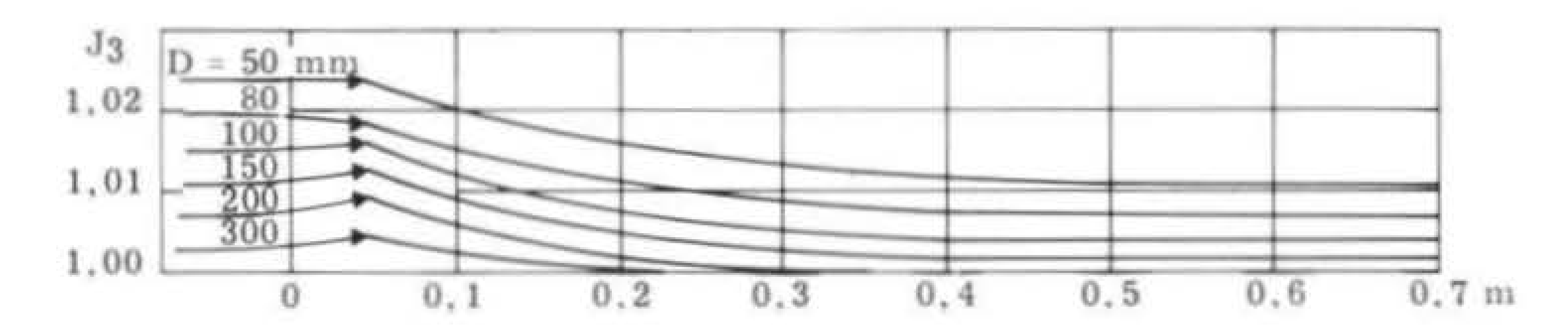


Fig. IX.6. — COEFFICIENT ε D'INFLUENCE DE LA COMPRESSIBILITÉ

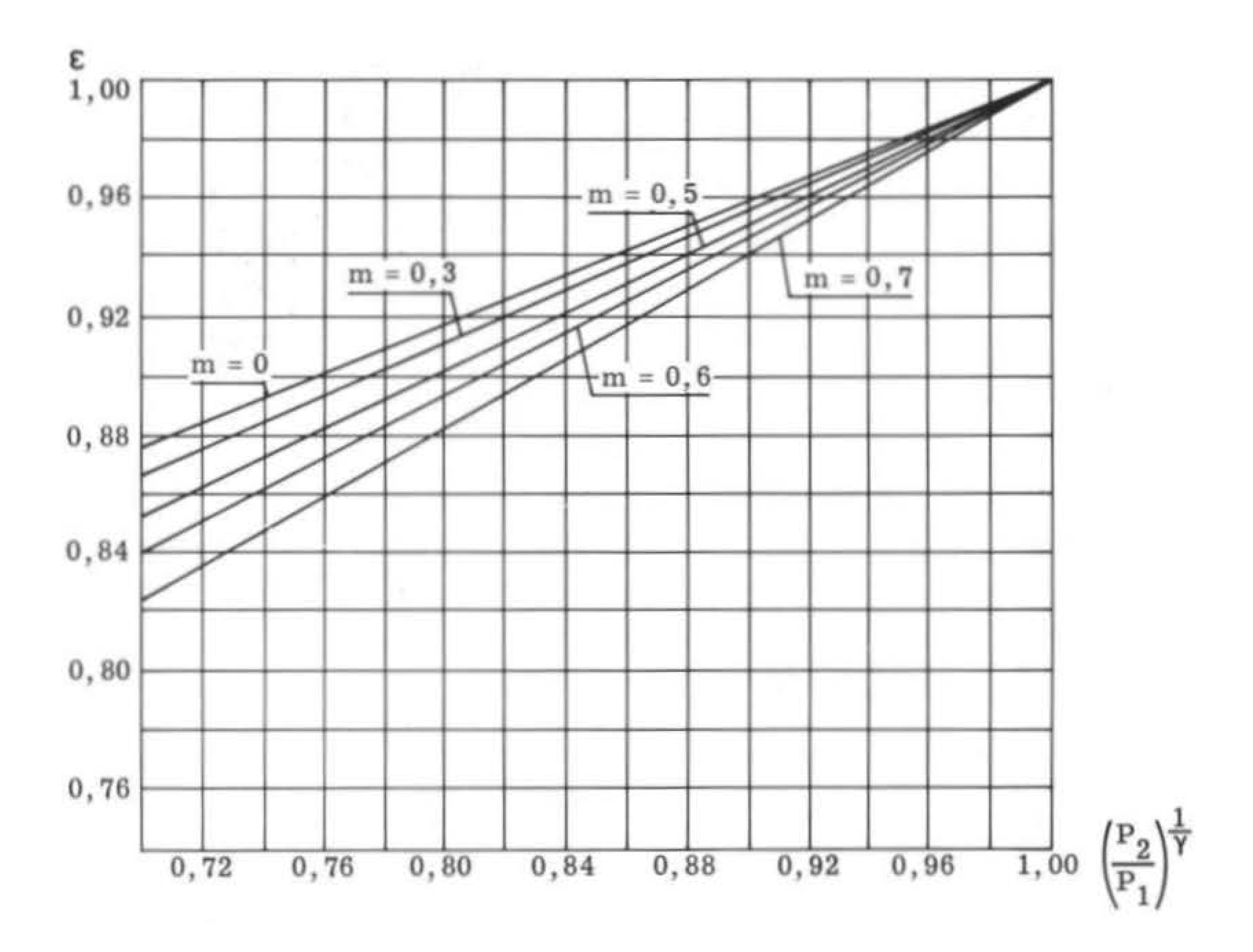


Fig. IX.7. — PRISES DE PRESSION AU VOISINAGE DE L'ORIFICE « FLANGE TAPS »

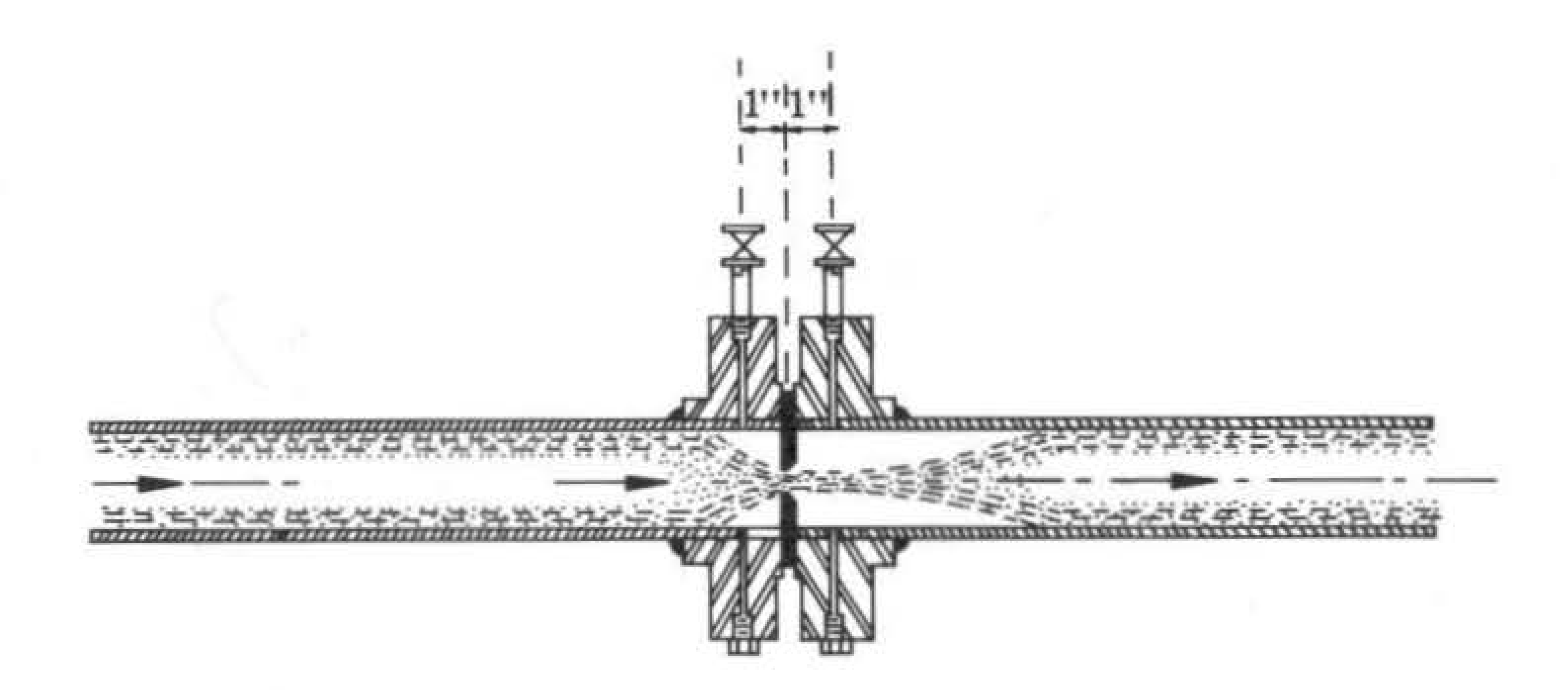


Fig. IX.8. — PRISES DE PRESSION ÉLOIGNÉES DE L'ORIFICE « PIPE TAPS »

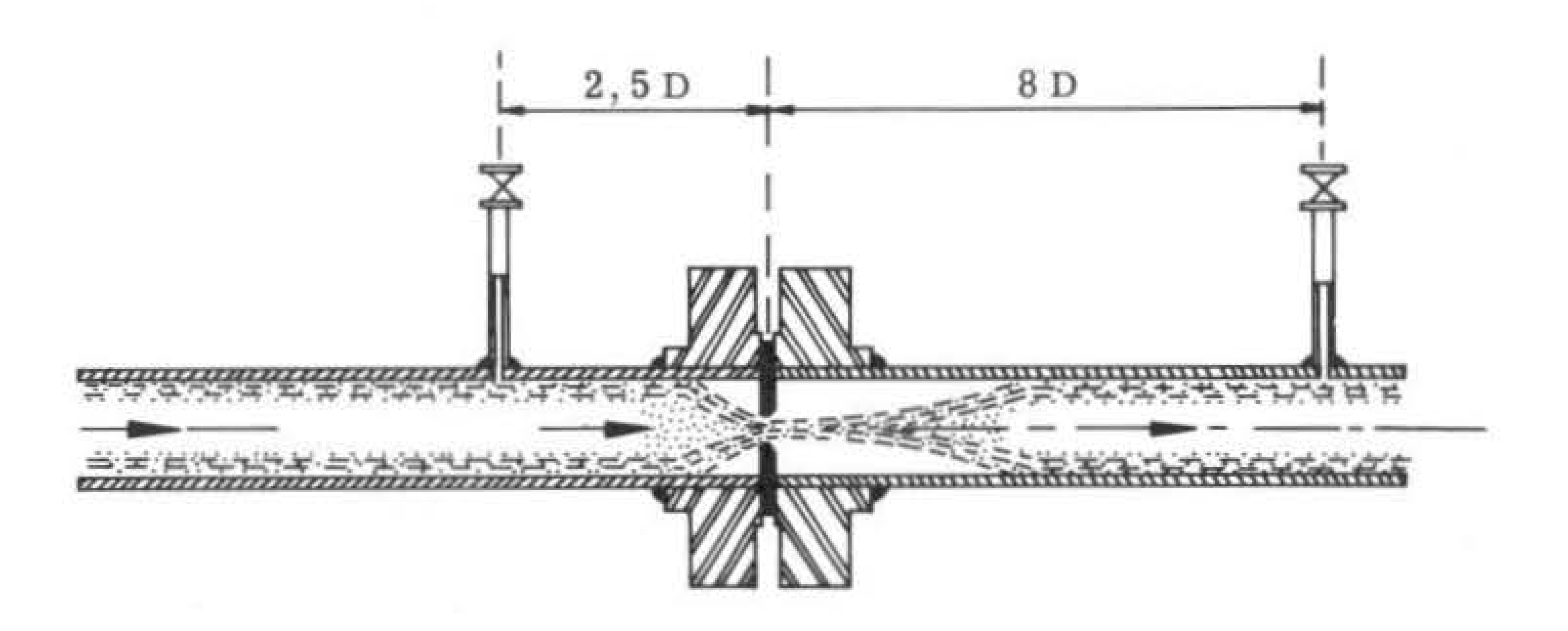
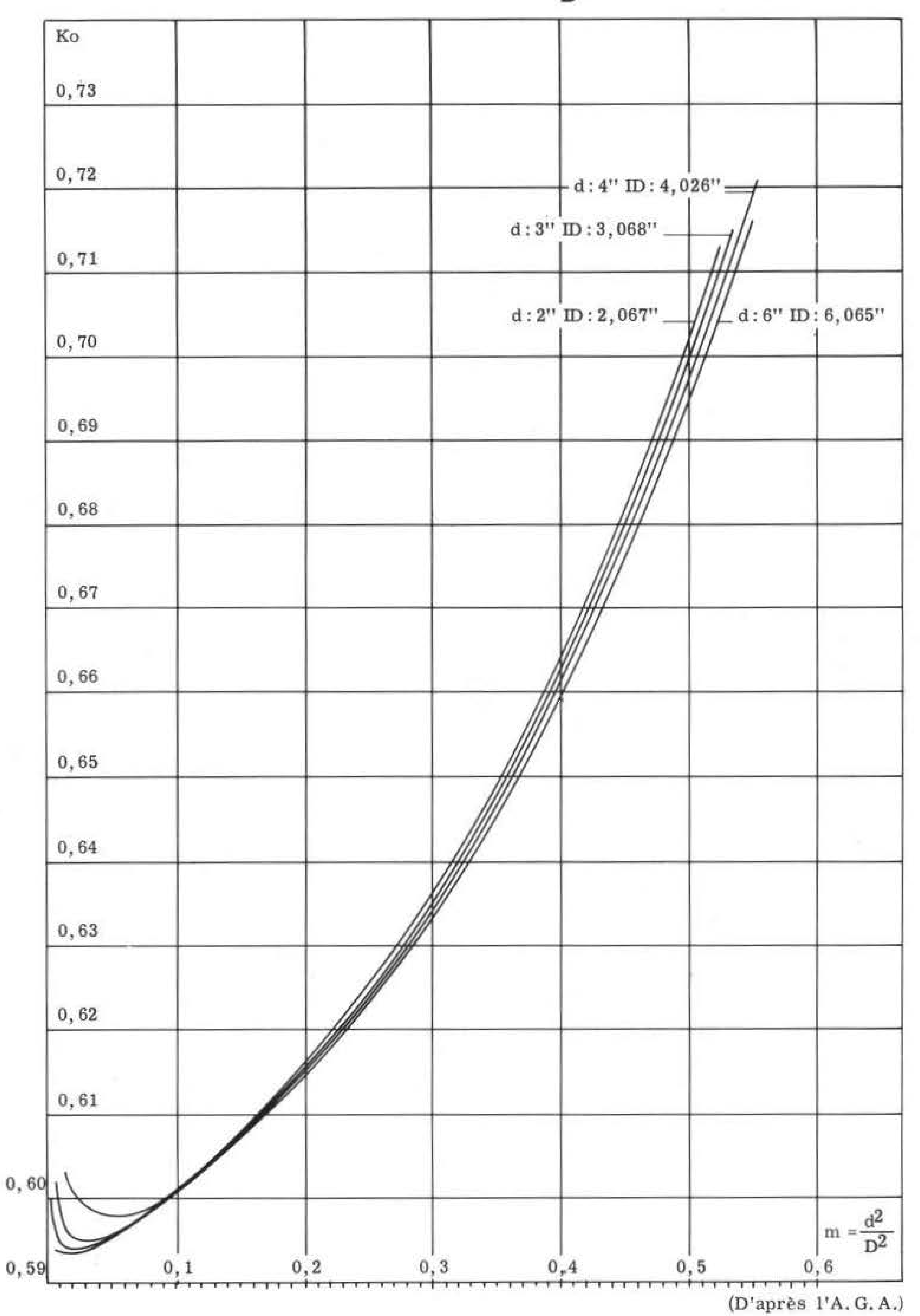


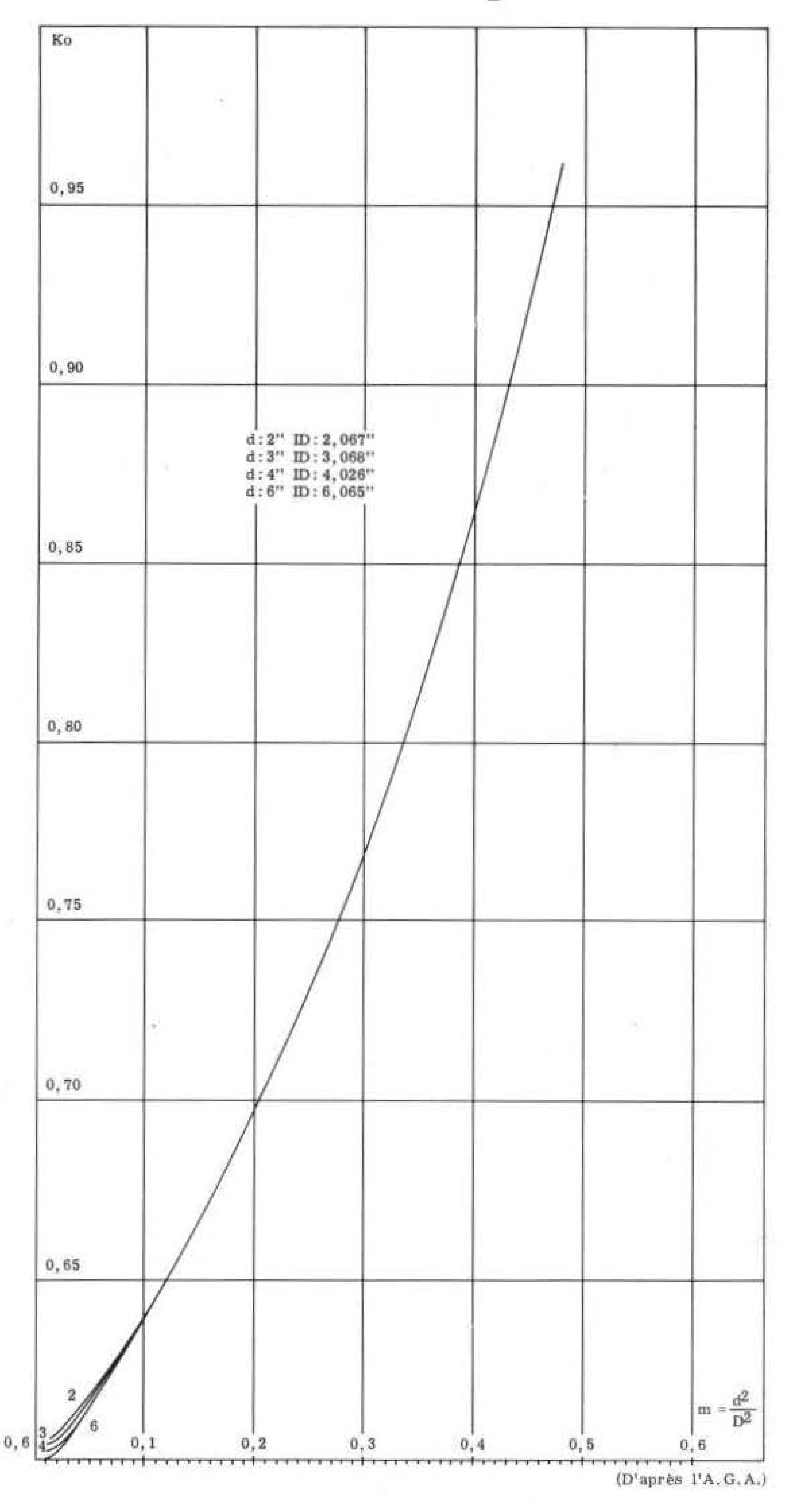
Fig. IX.9. — « FLANGE TAPS ». COEFFICIENT K_0 EN FONCTION DE $m = \frac{d^2}{D^2}$ ET DE D



(D'après l'A. G. A.)

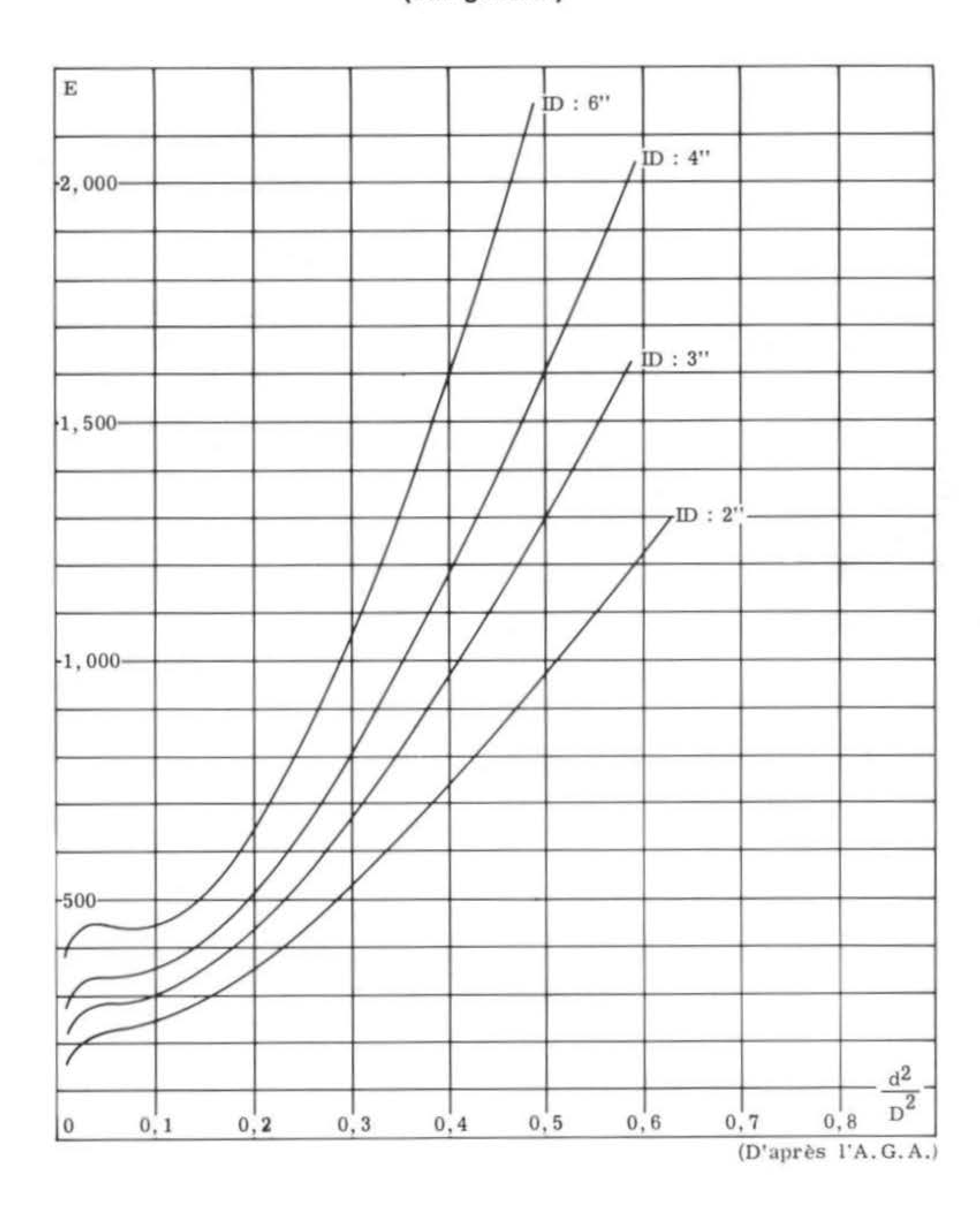
Fig. IX.10. — « PIPE TAPS ». COEFFICIENT K_0

EN FONCTION DE $m = \frac{d^2}{D^2}$ ET DE D



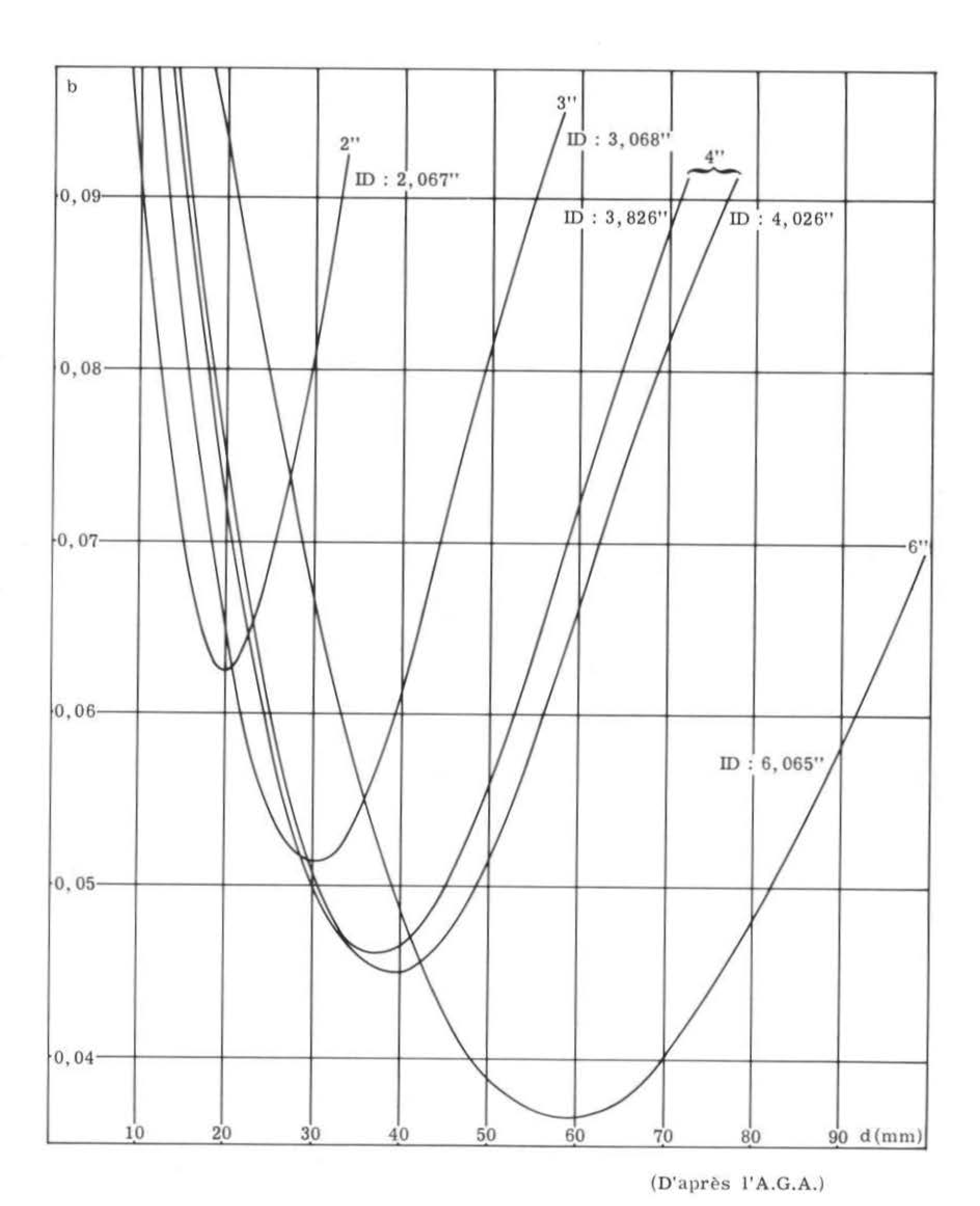
(D'après l'A.G.A.)

Fig. IX.11. — COEFFICIENT E POUR LE CALCUL DE F_r (cas général)



(D'après l'A.G.A.)

Fig. IX.12. — COEFFICIENT b POUR LE CALCUL DE F_r



(D'après l'A.G.A.)

Fig. IX.13. — « FLANGE TAPS ». COEFFICIENT Y EN FONCTION DE $\frac{h_w}{P_o}$ ET DE $m = \frac{d^2}{D^2}$

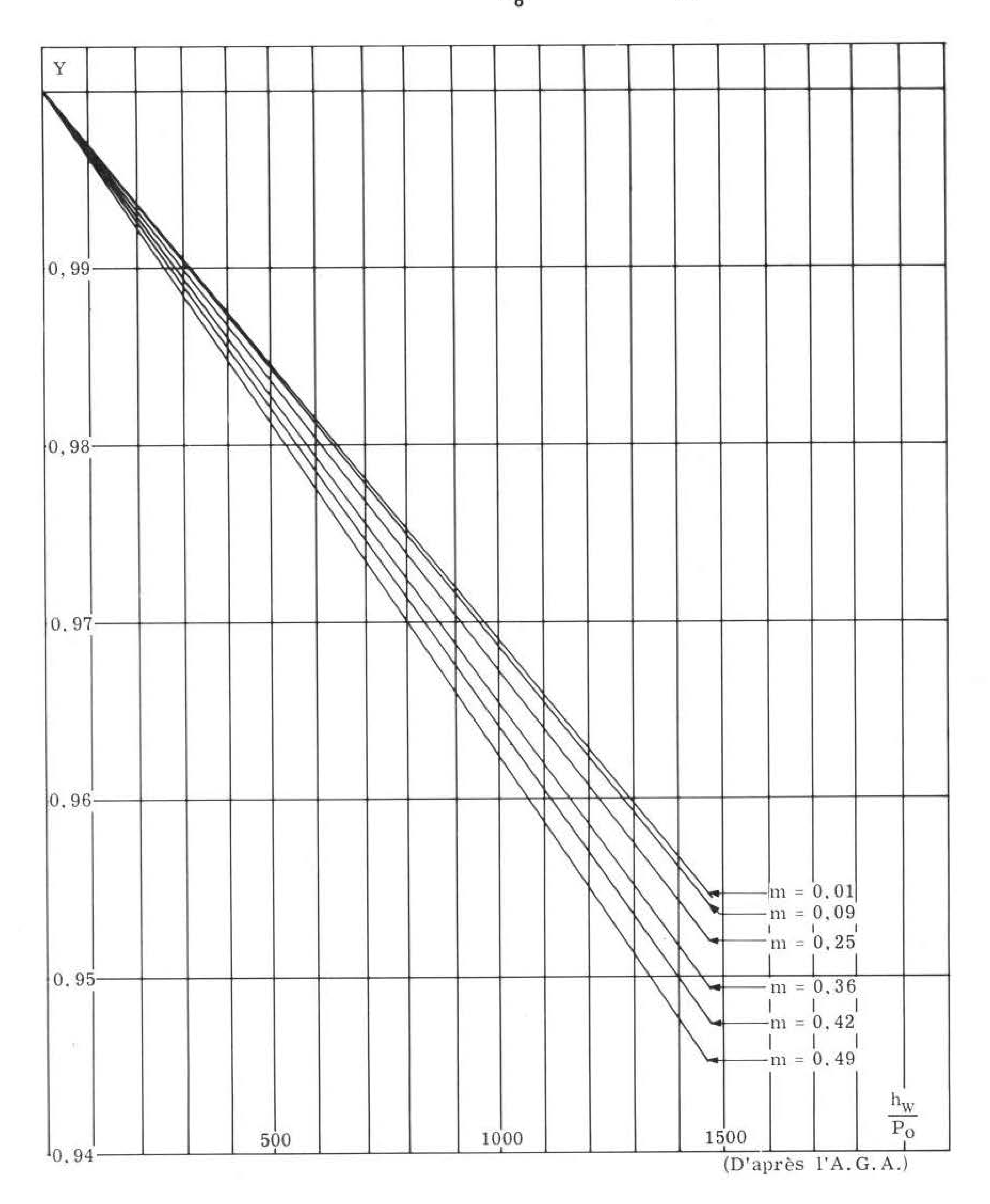
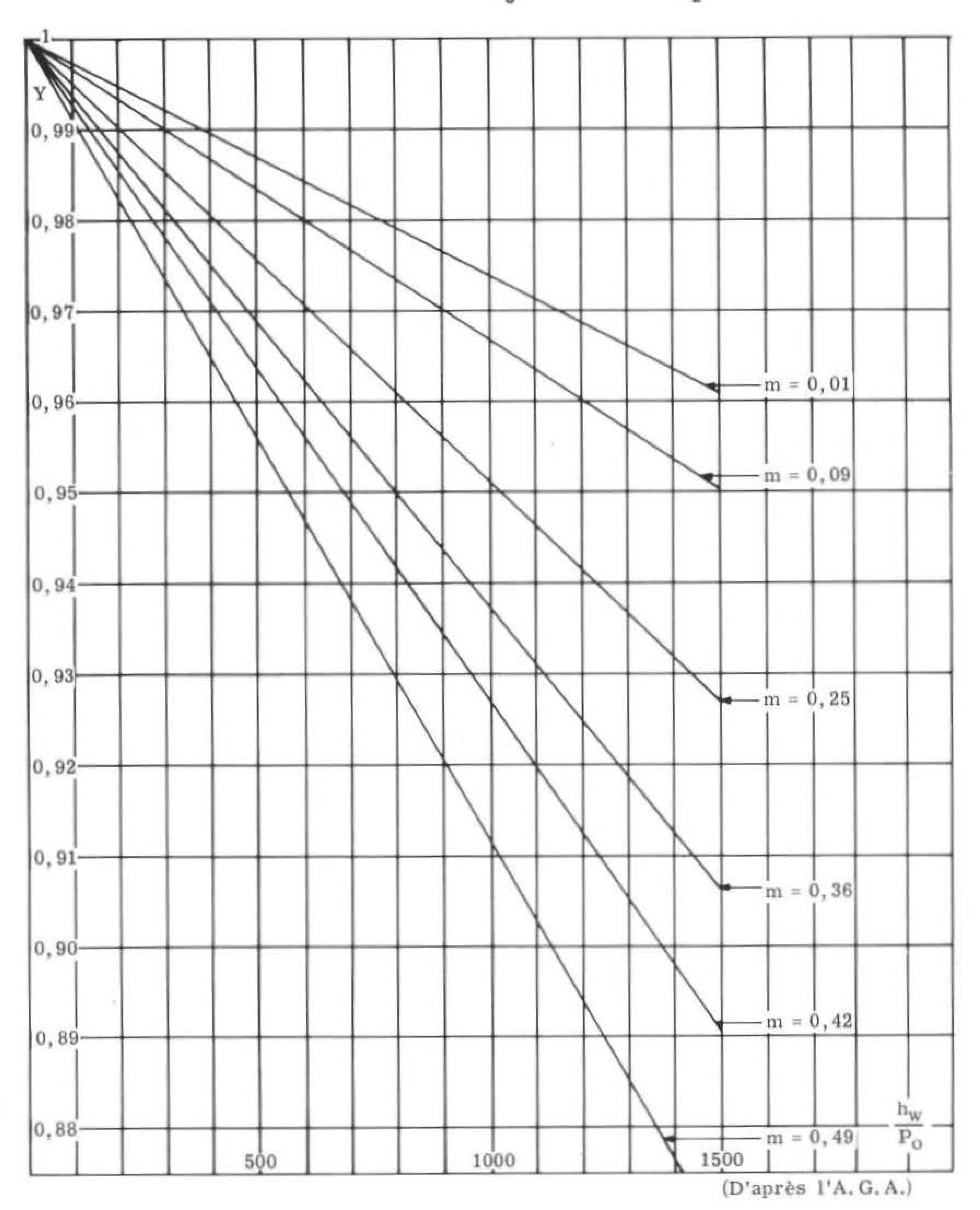


Fig. IX.14. — « PIPE TAPS ». COEFFICIENT Y EN FONCTION DE $\frac{h_w}{P_o}$ ET DE $m = \frac{d^2}{D_2}$



(D'après l'A. G. A.)

CHAPITRE X

chapitre X

TRAITEMENTS

SOMMAIRE

1. DÉSHYDRATATION

L'ensemble de courbes et d'abaques constituant l'essentiel de ce chapitre doit permettre de résoudre rapidement les problèmes simples liés à la déshydratation.

L'étude des cas plus complexes nécessitant l'installation d'une unité de séchage n'est pas abordé ici.

1.1. Détermination de la vapeur d'eau contenue dans un gaz naturel

Les réseaux de courbes des figures X.1a et X.1b permettent de déterminer la quantité d'eau, en lbs par MM.cu.ft ou en g par m^3, contenue dans un gaz naturel, à saturation, dans des conditions de pression et de température définies.

1.2. Détermination du point de formation d'hydrate pour un gaz naturel

Le réseau de courbes de la figure X.2 donne le point de formation d'hydrate (pression - température) pour des gaz naturels de densité variable.

1.3. Détermination de l'expansion possible d'un gaz naturel sans formation d'hydrates

L'ensemble des courbes des figures X.3a, X.3b, X.3c, X.3d, X.3e, permet de déterminer, pour des gaz naturels de densité 0,6 à 1, diverses valeurs fonctions de l'évolution du gaz en pression et température.

a) Expansion possible, à partir d'une pression et d'une température initiales, sans formation d'hydrates, voie 1.

b) Température minimale initiale pour pouvoir détendre un gaz naturel d'une pression initiale donnée à une pression finale donnée sans formation d'hydrates, voie 2.

c) Pour une détente adiabatique, à partir d'un état donné (pression - température), pression minimale pour rester à la température initiale ; et pression de formation d'hydrates, voie 3.

1.4. Détermination de la quantité de méthanol à injecter dans un gaz naturel pour abaisser, d'une valeur donnée, la température de formation d'hydrates

La courbe de la figure X.4a permet de déterminer, à partir de l'abaissement de température désiré, le pourcentage, en poids, de méthanol dans la phase liquide.

L'abaque de la figure X.4b permet de déterminer, pour des conditions pression - température données, le rapport du poids de méthanol vapeur au pourcentage en poids de méthanol dans la phase liquide (valeur déterminée par X.4a).

D'où le calcul direct du poids de méthanol par unité de volume de gaz.

2. CALCUL DES RÉCHAUFFEURS

2.1. Réchauffage d'huile

2.1.1. DONNEES NECESSAIRES

Ces données doivent être connues exactement ou estimées pour effectuer le calcul. Quelle que soit leur origine, elles devront être exprimées en unités américaines, car les méthodes de calcul utilisent des abaques donnés par les constructeurs américains :

- débit horaire d'huile : V en bbl/h ;
- pourcentage d'eau dans l'huile ;
- volume de gaz libre associé à l'huile : v en cu.ft/h ;
- viscosité de l'huile, ou de l'effluent, pouvant être un mélange d'huile et de gaz : μ en SSU ;
- température à l'entrée : T_1 en °F ;
- température à la sortie : T_2 en °F ;
- température de l'eau du réchauffeur ; à choisir, généralement de l'ordre de 90°C, soit 190 à 200°F : T_r en °F ;
- pertes de charge maximales permissibles dans le réchauffeur : ΔP en psi.

2.1.2. METHODE DE CALCUL

2.1.2.1. Calcul de la quantité de chaleur horaire nécessaire pour obtenir l'élévation de température désirée, pour le débit considéré :

$$Q_h = q \times V \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_g = C_p \times v \times (T_2 - T_1)$$

$$Q = Q_h + Q_g$$

q : quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°F, 1 bbl d'huile, en B.t.u/bbl/°F. Ce coefficient est donné par la courbe de la figure X.5 en tenant compte du pourcentage d'eau dans l'huile.

C_p : chaleur spécifique du gaz en B.t.u./M cu.ft/°F, donnée par les courbes de la figure X.11, réchauffage de gaz. On peut prendre 40 B.t.u/M cu.ft/°F, comme valeur moyenne approchée.

Certains constructeurs préconisent d'ajouter 10 % de Q, pour tenir compte des pertes extérieures par rayonnement.

2.1.2.2. Choix du type de réchauffeur, dans le catalogue d'un fabricant ; donnant la quantité de chaleur précédemment calculée.

2.1.2.3. Détermination de la LMTD (moyenne logarithmique de la différence de température); deux méthodes sont possibles :

- utilisation de l'abaque de la figure X.6 qui donne directement le résultat, en utilisant comme données la plus grande et la plus petite différence de température entre l'huile et l'eau du réchauffeur : $(T_r - T_1)$ et $(T_r - T_2)$;

- calcul direct approché :

$$LMTD = \frac{(T_r - T_1) + (T_r - T_2)}{2}$$

2.1.2.4. Détermination du coefficient de transfert "U" entre l'eau et l'huile :

- choix du diamètre du serpentin;

- détermination de U par l'abaque de la figure X.7.

2.1.2.5. Calcul de la surface de serpentin nécessaire au transfert de la chaleur :

$$A = \frac{Q}{U \times LMTD}$$

2.1.2.6. Choix, dans le catalogue constructeur, du type de serpentin (diamètre conforme à celui choisi précédemment) donnant la surface calculée (approximativement).

2.1.2.7. Détermination des pertes de charge dans le serpentin

- l'abaque de la figure X.8 donne les pertes de charge pour 100 ft;

- la longueur totale équivalente du serpentin est donnée dans le catalogue constructeur.

2.1.2.8. Si les pertes de charge calculées sont supérieures au ΔP permissible, reprendre le calcul à partir de 2.1.2.4 en choisissant un tube de diamètre supérieur.

2.1.3. COURBES ET ABAQUES

Figure X.5 : courbe donnant la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°F, 1 bbl d'huile, compte tenu du pourcentage d'eau dans l'huile;

Figure X.6 : abaque pour la détermination de LMTD.

Figure X.7 : abaque donnant le coefficient de transfert de chaleur "U" entre l'eau et l'huile.

Figure X.8 : abaque donnant les pertes de charge en fonction du débit pour divers diamètres de serpentins.

2.2. Réchauffage de gaz

2.2.1. DONNEES NECESSAIRES

Mêmes remarques que pour l'huile :

- débit horaire de gaz : V en MM s.cu.ft/h ;
- pression à l'entrée : P_1 en psi ;
- pression à la sortie : P_2 en psi ;
- densité du gaz : G ;
- masse spécifique : ρ ;
- température à l'entrée : T_1 en °F ;
- température de l'eau du réchauffeur : T_r en °F ;
- pertes de charge maximum permissibles : ΔP en psi.

2.2.2. METHODE DE CALCUL

2.2.2.1. Détermination de la température du gaz à la sortie : T_2

Cette température T_2 peut être fixée par les conditions générales d'installation ; dans ce cas elle est directement déterminée.

Mais elle peut aussi être choisie en fonction de la température de formation des hydrates, dans ce cas on a :

T_h : température de formation des hydrates, donnée par la courbe de la figure X. 9 ;

ΔT : chute de température due à la chute de pression dans le réchauffeur, donnée par la courbe de la figure X. 10 ;

T_2 : $T_h + \Delta T$.

2.2.2.2. Calcul de l'élévation de température désirée : $(T_2 - T_1)$

2.2.2.3. Calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour obtenir l'élévation de température désirée :

$$Q = V \times \rho \times C_p \times (T_2 - T_1)$$

C_p : chaleur spécifique du gaz, donnée par les courbes de la figure X. 11.

2.2.2.4. Choix du type de réchauffeur, dans le catalogue d'un constructeur, donnant la quantité de chaleur précédemment calculée.

2.2.2.5. Détermination de la LMTD, mêmes méthodes que pour l'huile (voir réchauffage d'huile, paragr. 2.1.2.3.

2.2.2.6. Détermination du coefficient de transfert de chaleur "U", entre l'eau et le gaz.

- Choix du diamètre du serpentin ;
- Détermination de "U" par les abaques des figures X. 12 a, X. 12 b, X. 12 c.

2.2.2.7. Calcul de la surface de serpentin :

$$A = \frac{Q}{U \times LMTD}$$

2.2.2.8. Choix, dans le catalogue constructeur, du type de serpentin (diamètre conforme à celui choisi prédécemment) donnant la surface calculée (approximativement).

2.2.2.9. Détermination des pertes de charges dans le serpentin

Ces pertes de charge sont en général négligeables devant la chute de pression due à la duse placée en amont ou en aval. Toutefois, certain constructeur donne, pour chaque type de serpentin, un coefficient "K" qui permet, par l'intermédiaire d'abaques, de déterminer ces pertes de charges.

2.2.3. COURBES ET ABAQUES

Figure X.9 : Courbes de température de formation d'hydrates pour les gaz naturels ;

Figure X.10 : Abaque donnant la baisse de température correspondant à une chute de pression, en fonction de la pression initiale ;

Figure X.11 : Réseaux de courbes donnant les chaleurs spécifiques des gaz naturels en fonction de la densité, pour diverses pressions ;

Figures X.12 a, X.12 b et X.12c Courbes donnant le coefficient de transfert de chaleur "U" entre l'eau et le gaz.

2.3. Réchauffeurs à vapeur et à bain de sels

Pour ces deux types de réchauffeurs, la méthode de calcul est analogue; les deux seules différences sont : la possibilité d'obtenir une température de bain supérieure à 100°C, et les coefficients de transfert de chaleur qui sont différents. Les constructeurs ne donnent pas ces valeurs, dans leurs catalogues.

Fig. X.1 a. — VAPEUR D'EAU CONTENUE DANS UN GAZ NATUREL A SATURATION

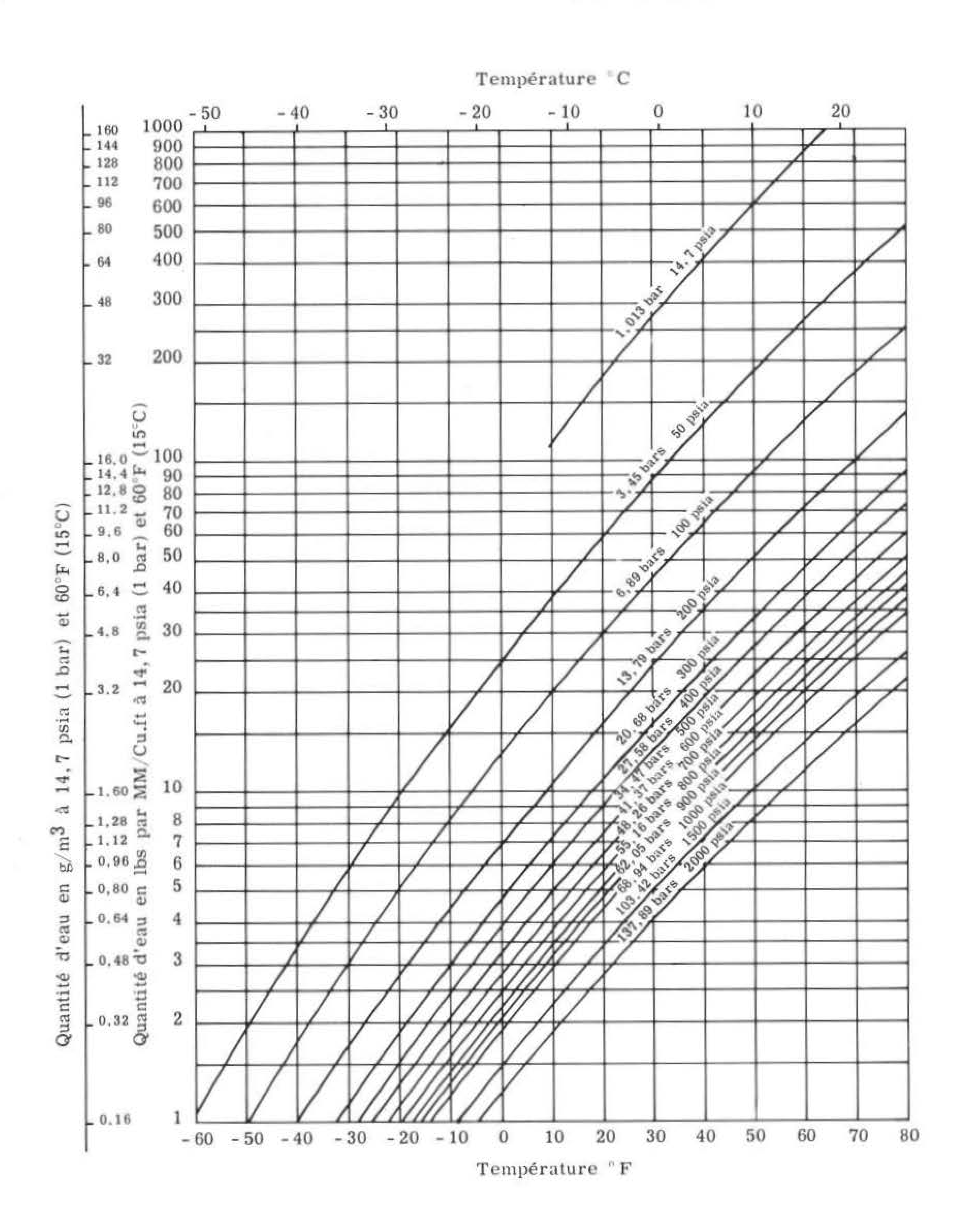


Fig. X.1 b. — VAPEUR D'EAU CONTENUE DANS UN GAZ NATUREL A SATURATION

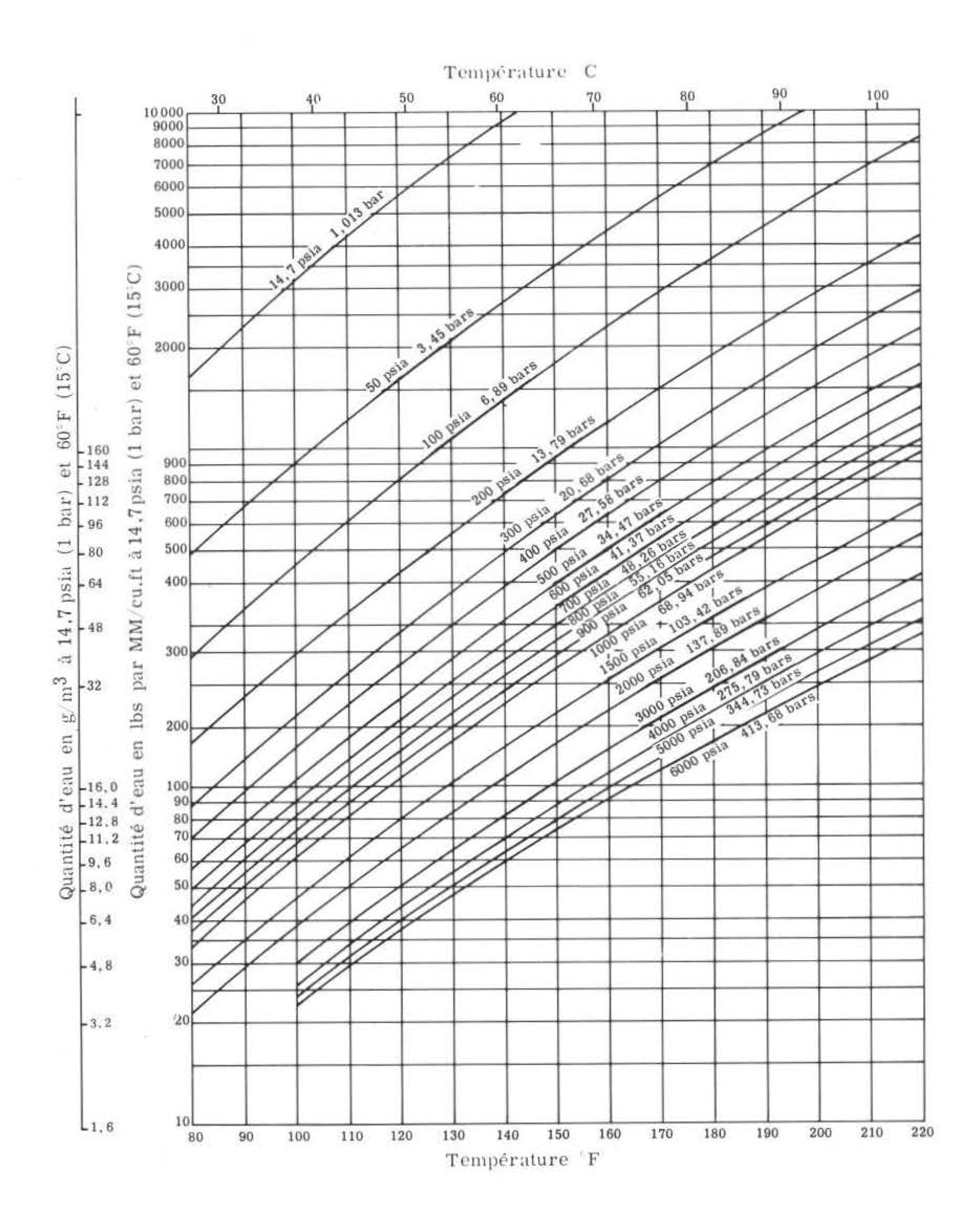


Fig. X.2. — COURBES PRESSION TEMPÉRATURE DE DÉTERMINATION DE FORMATION D'HYDRATES

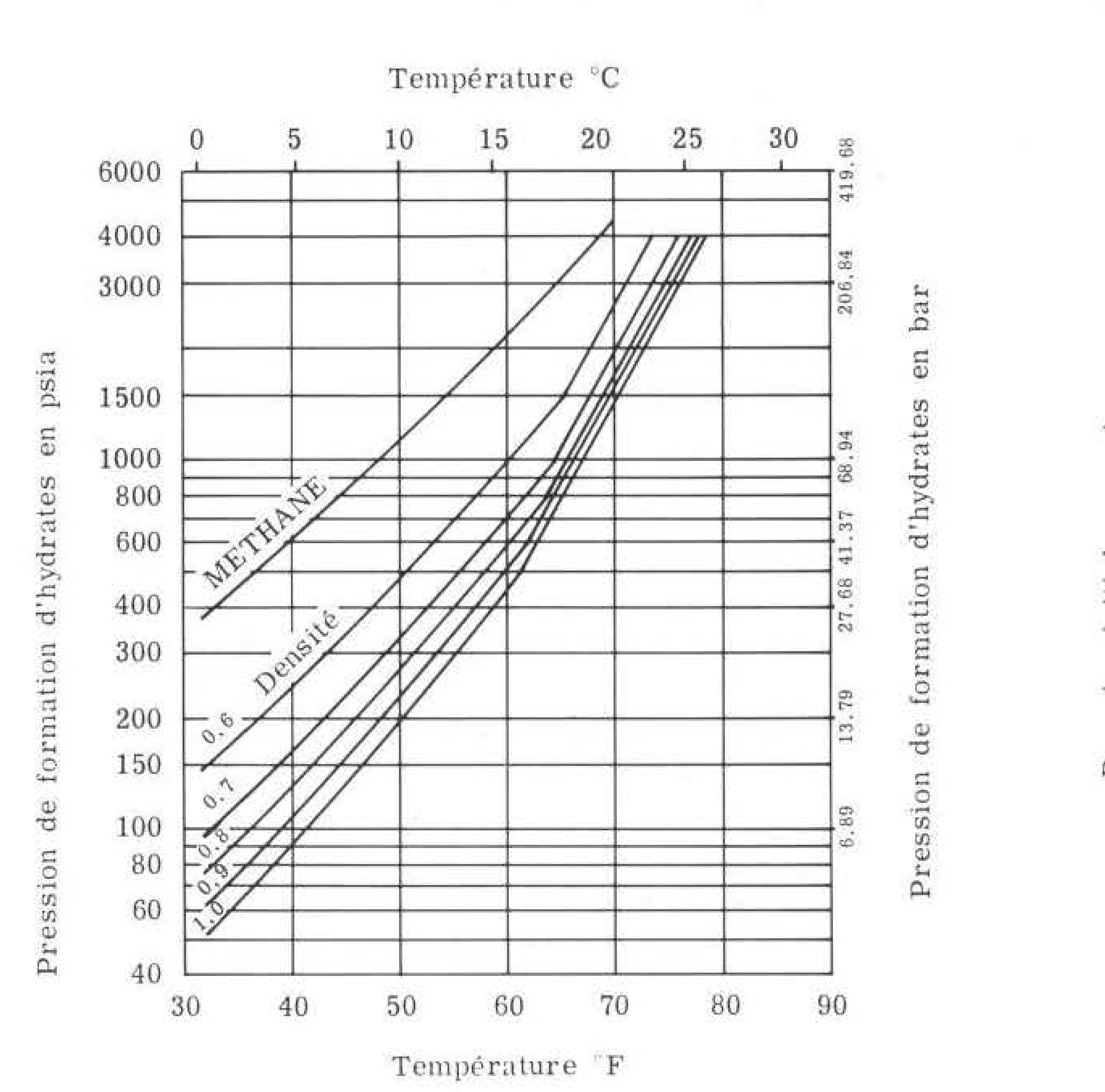
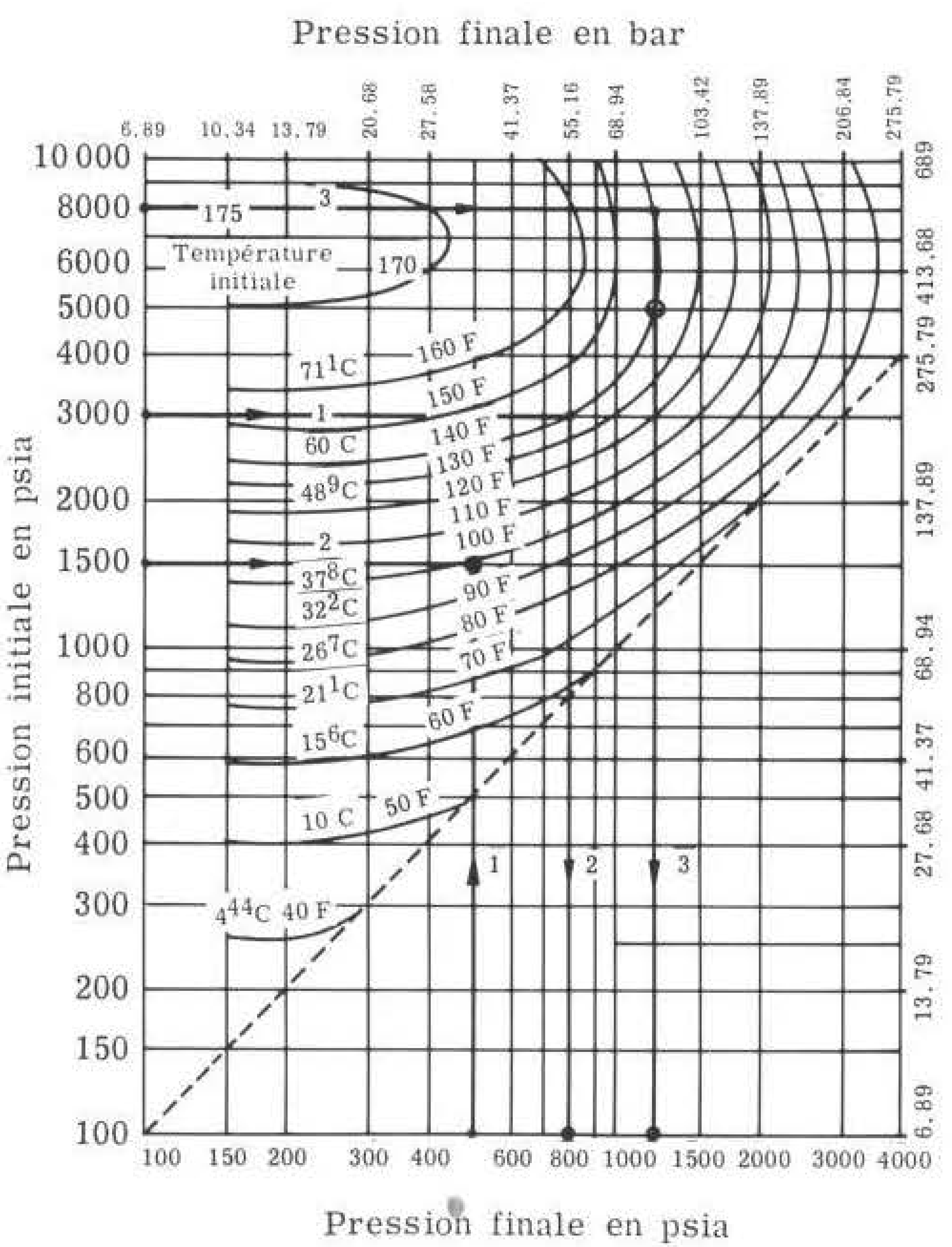


Fig. X.3 a. — EXPANSION POSSIBLE D'UN GAZ NATUREL DE DENSITÉ 0,6 SANS FORMATION D'HYDRATES



- Points références (conditions initiales)

O Résultats

Fig. X.3 b. — EXPANSION POSSIBLE D'UN GAZ NATUREL DE DENSITÉ 0,7 SANS FORMATION D'HYDRATES

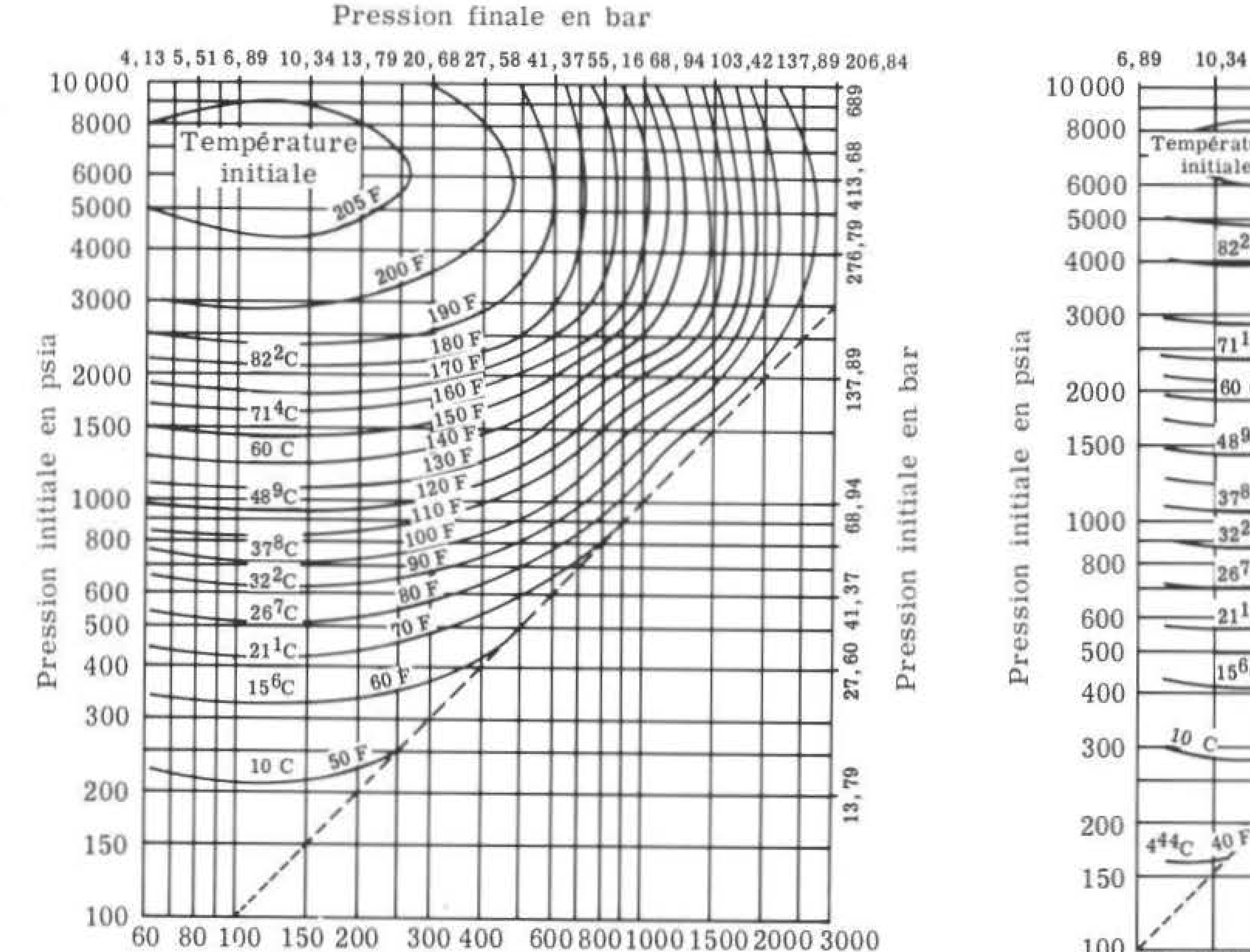


Fig. X.3 c. — EXPANSION POSSIBLE D'UN GAZ NATUREL DE DENSITÉ 0,8 SANS FORMATION D'HYDRATES

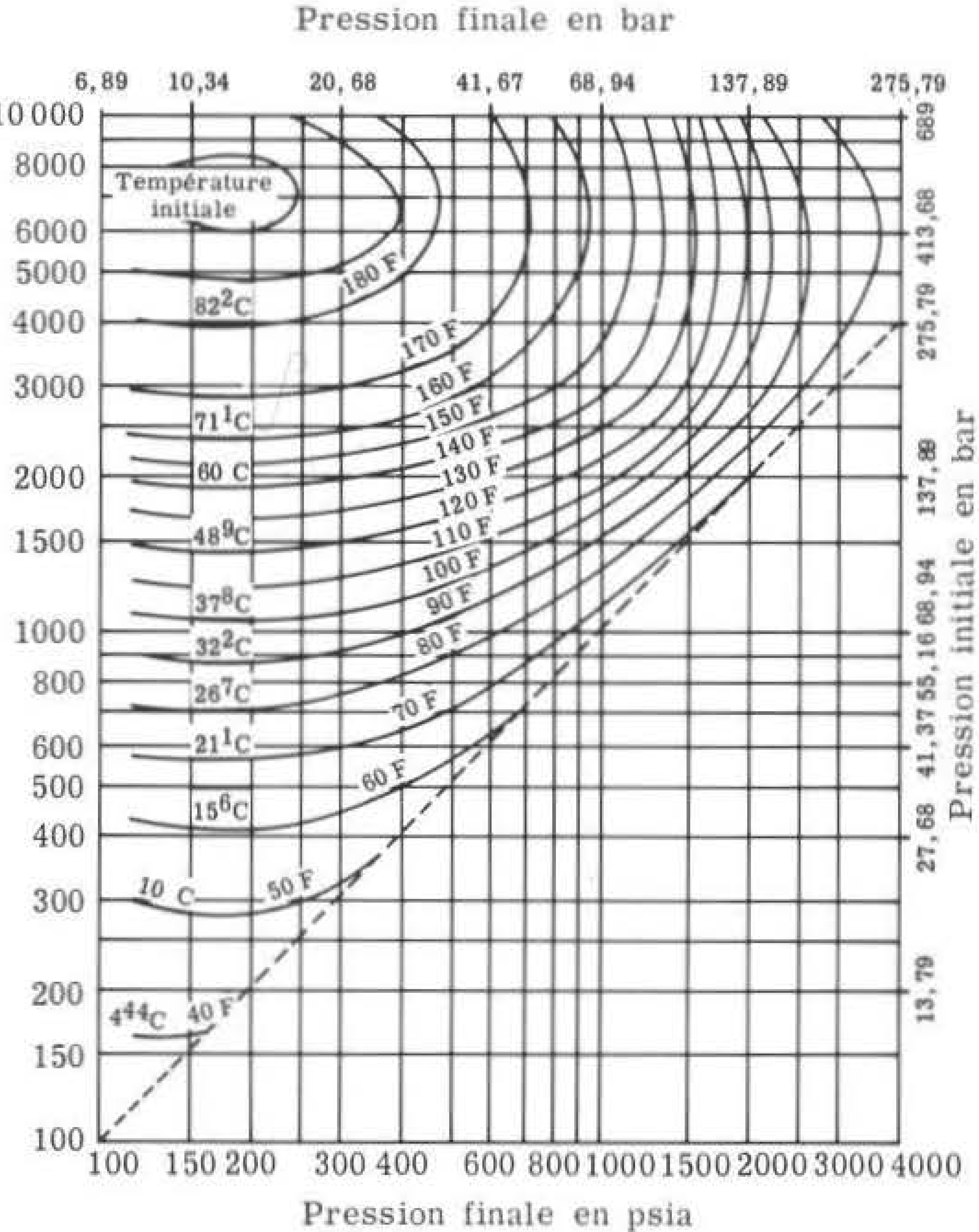


Fig. X.3 d. — EXPANSION POSSIBLE D'UN GAZ NATUREL DE DENSITÉ 0,9 SANS FORMATION D'HYDRATES

Fig. X.3 e. — EXPANSION POSSIBLE D'UN GAZ NATUREL DE DENSITÉ 1,0 SANS FORMATION D'HYDRATES

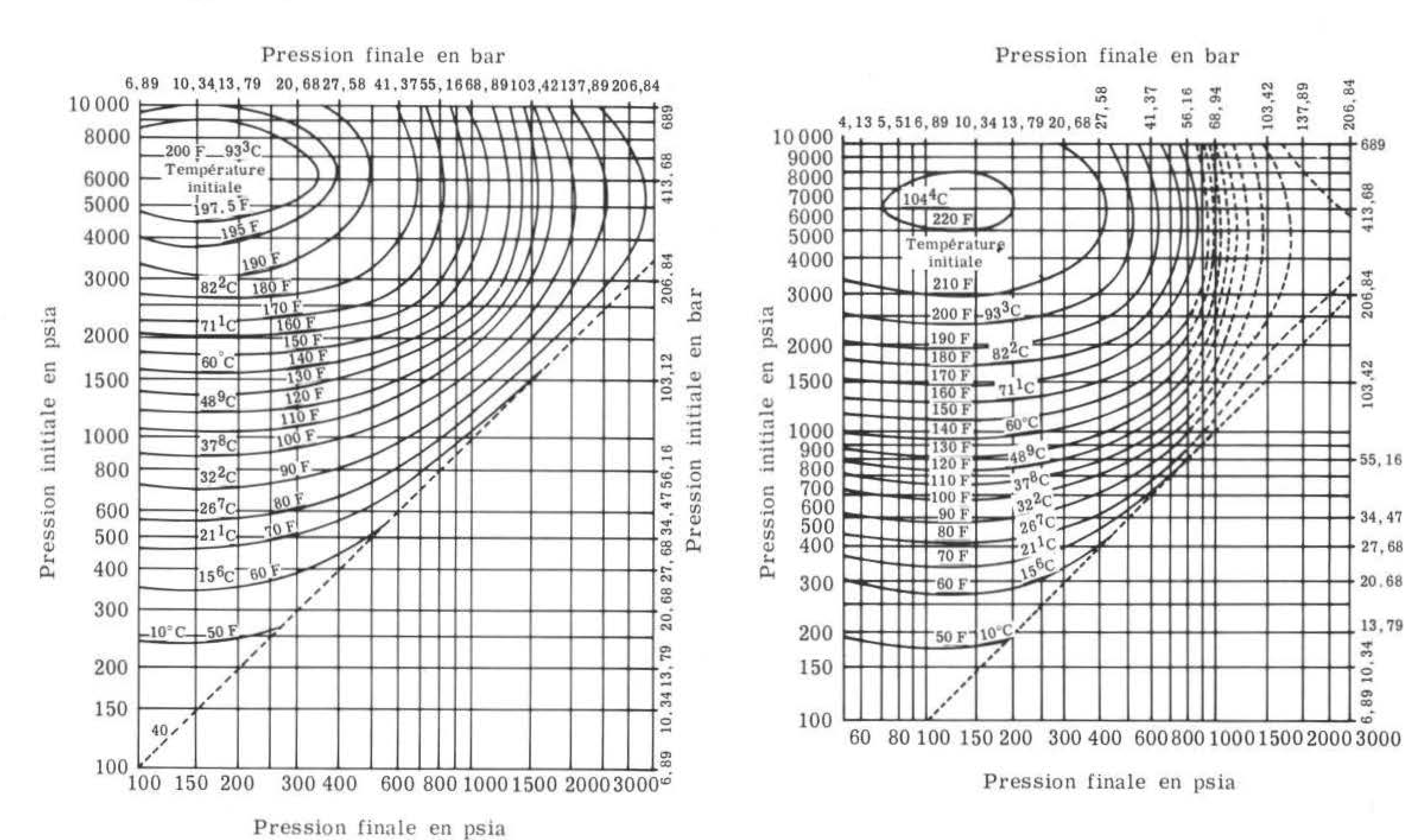


Fig. X.4 a. — ABAISSEMENT DU POINT DE FORMATION D'HYDRATES EN FONCTION DU POURCENTAGE EN POIDS DE MÉTHANOL DANS LE LIQUIDE

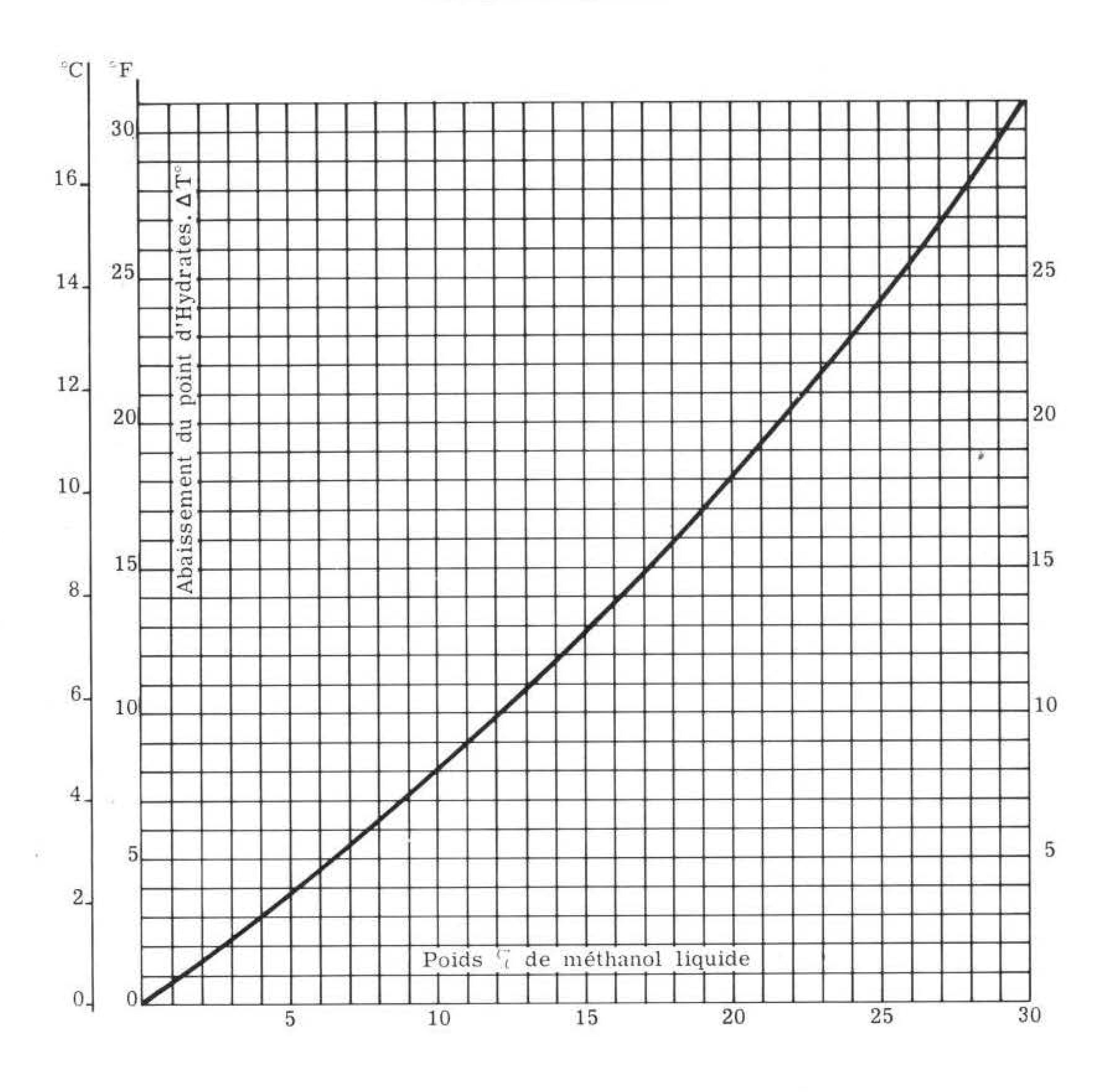


Fig. X.4 b. — RAPPORT DU POIDS DE MÉTHANOL VAPEUR AU POURCENTAGE DE MÉTHANOL DANS LA PHASE LIQUIDE

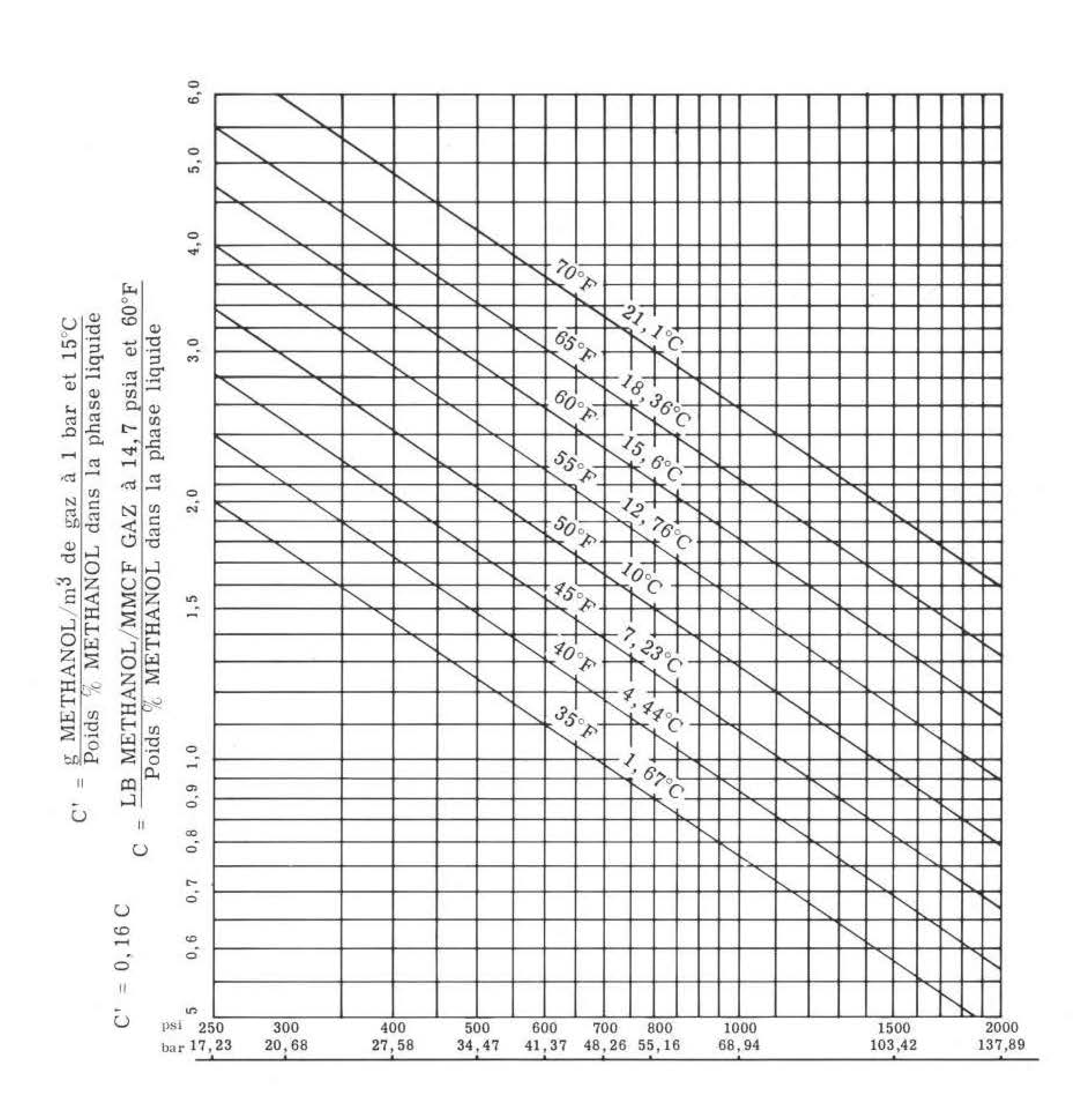


Fig. X.5. — QUANTITÉ DE CHALEUR EN B.t.u. NÉCESSAIRE POUR ÉLEVER LA TEMPÉRATURE DE 1 bbl DE 1°F

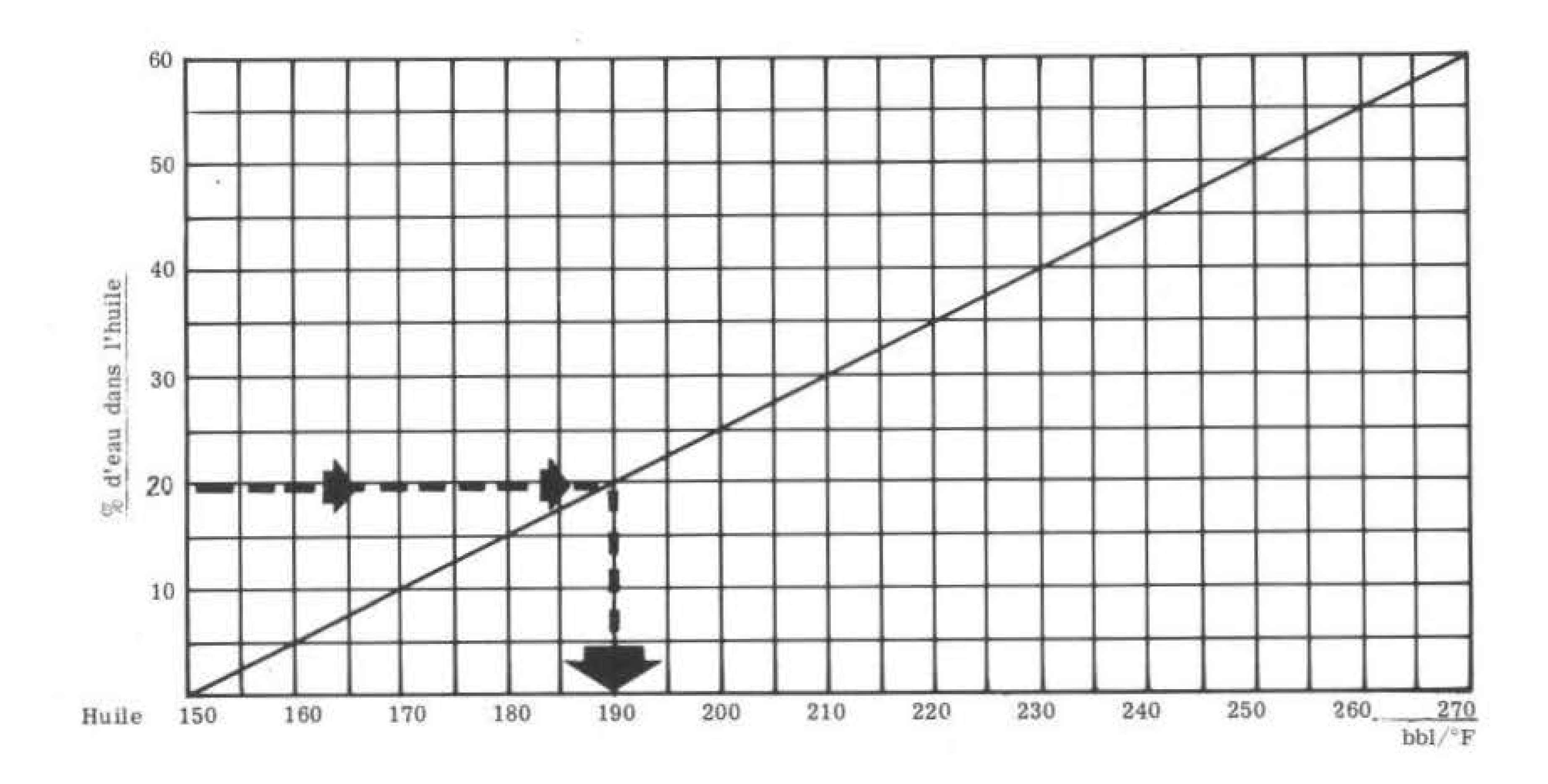


Fig. X.6. — DÉTERMINATION DE LA LMTD

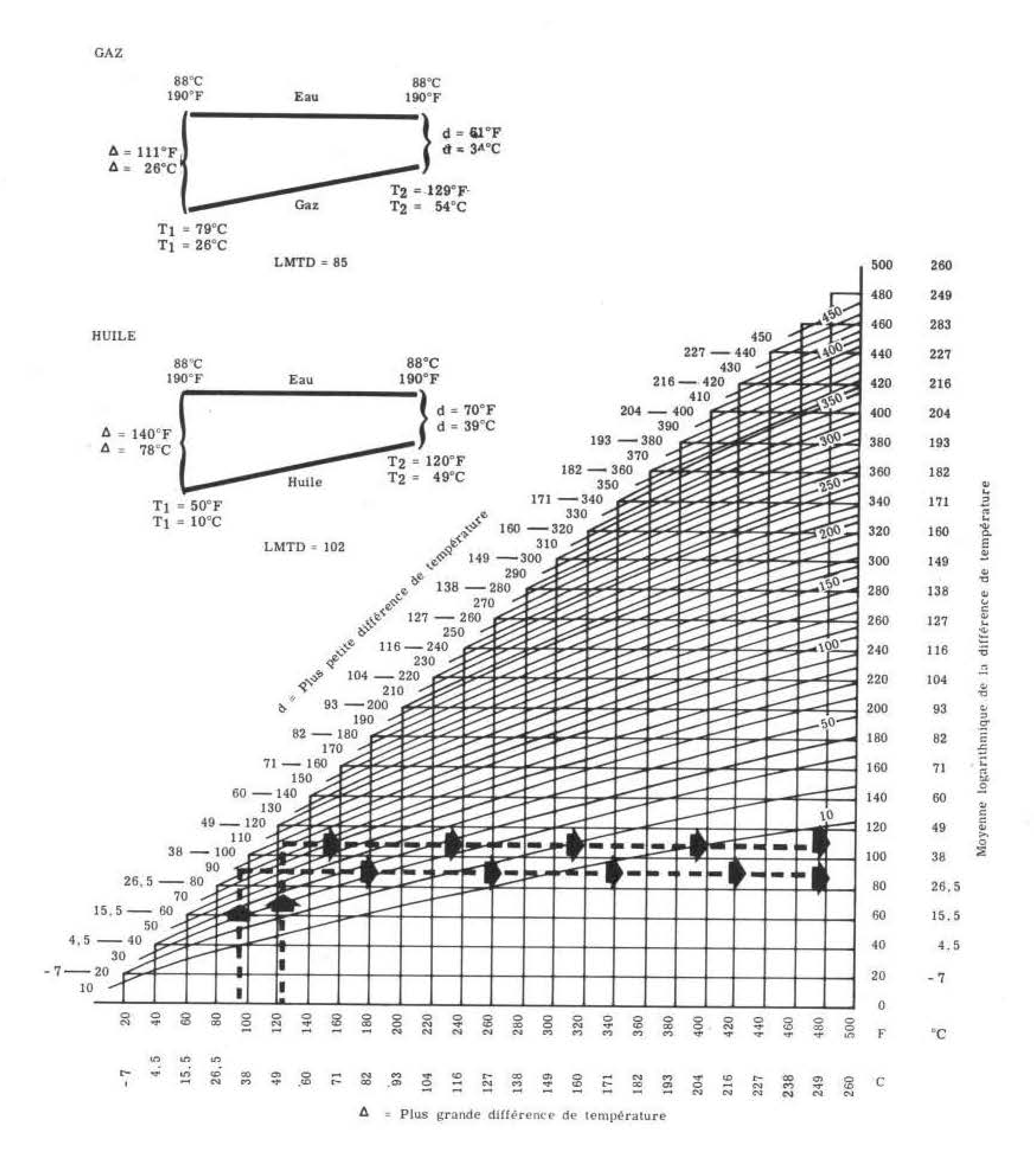


Fig. X.7. — COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR DU SERPENTIN A L'HUILE

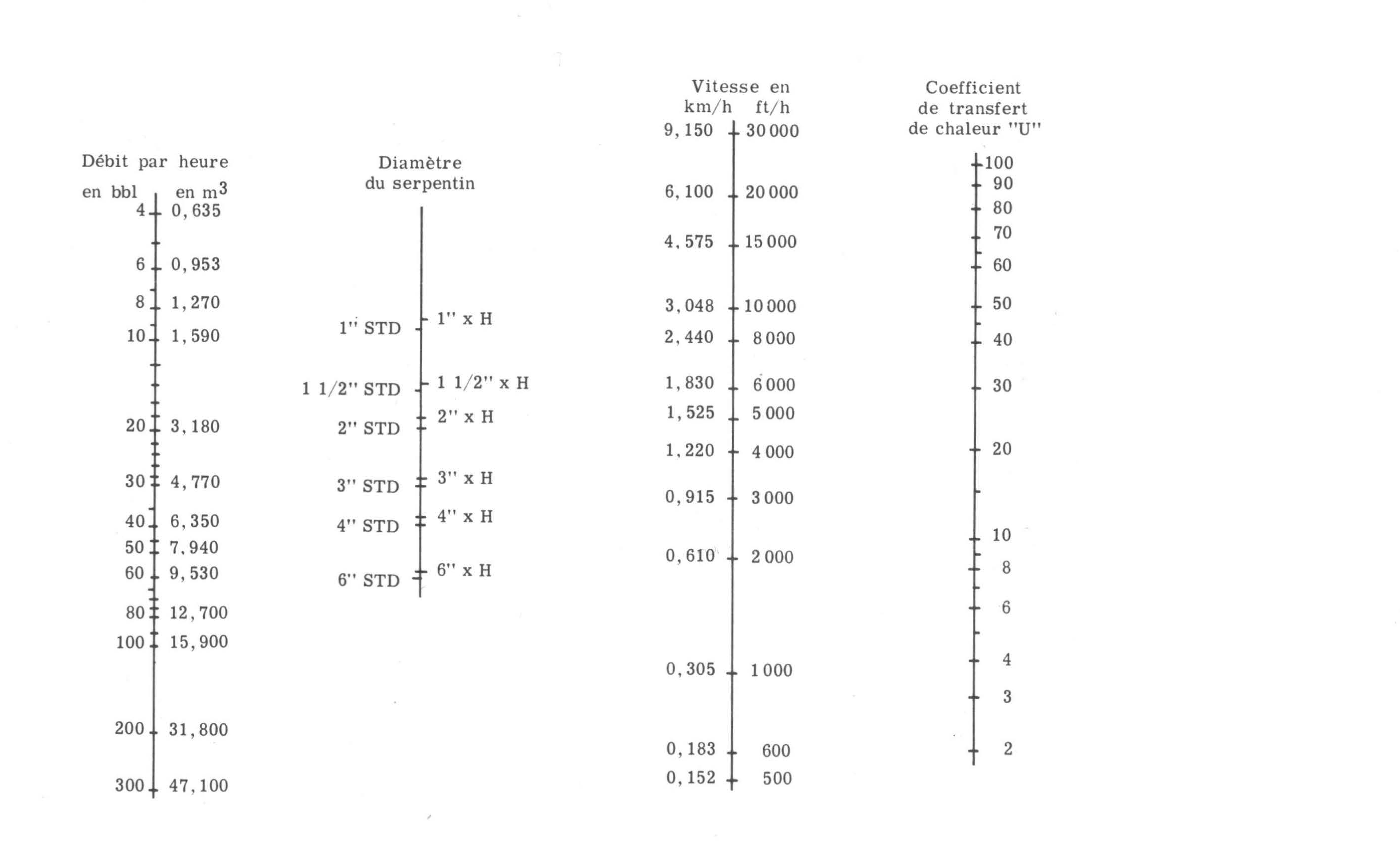


Fig. X.8. — PERTES DE CHARGES DANS LE SERPENTIN

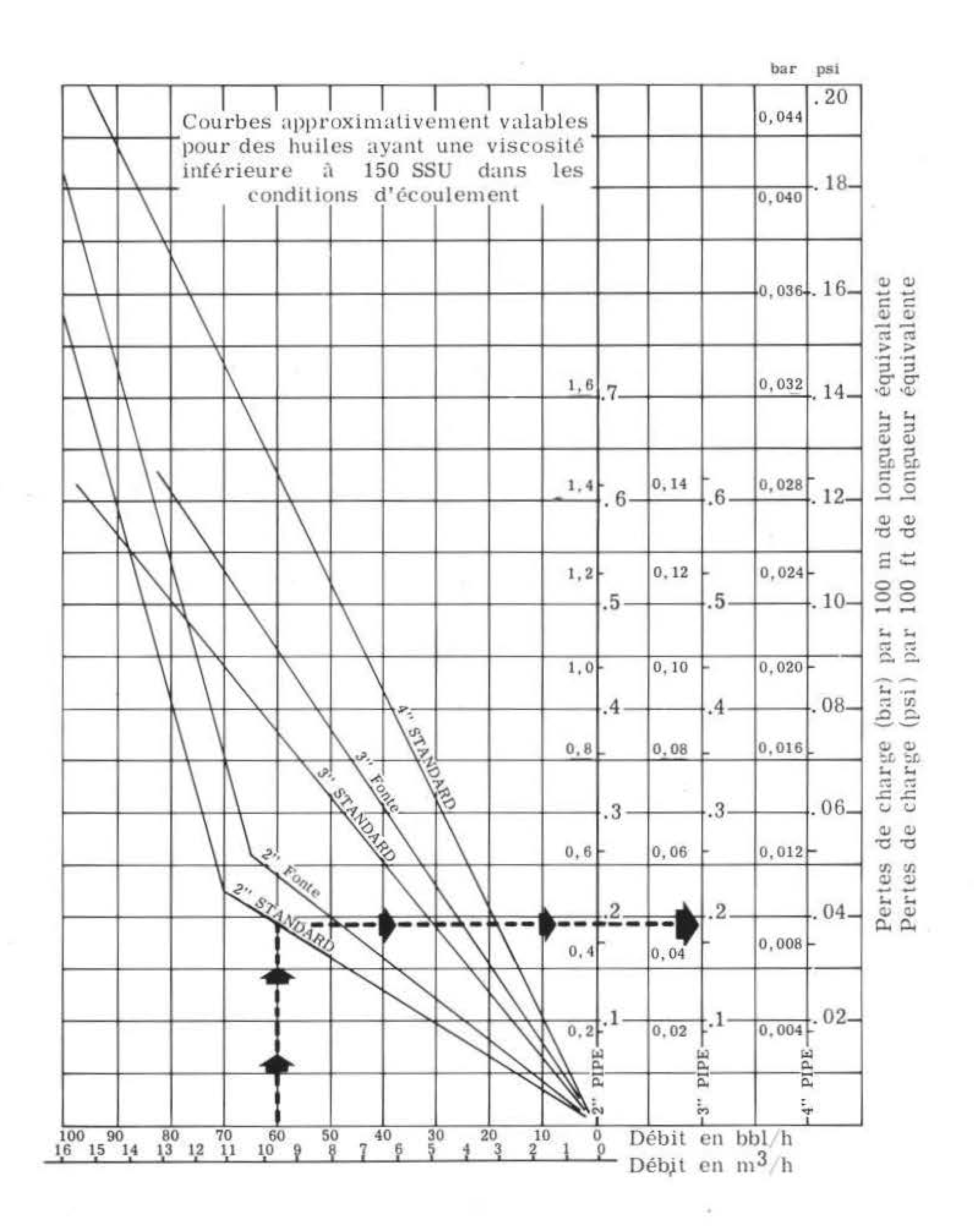


Fig. X.9. — CONDITIONS DE FORMATION D'HYDRATES POUR LES GAZ NATURELS

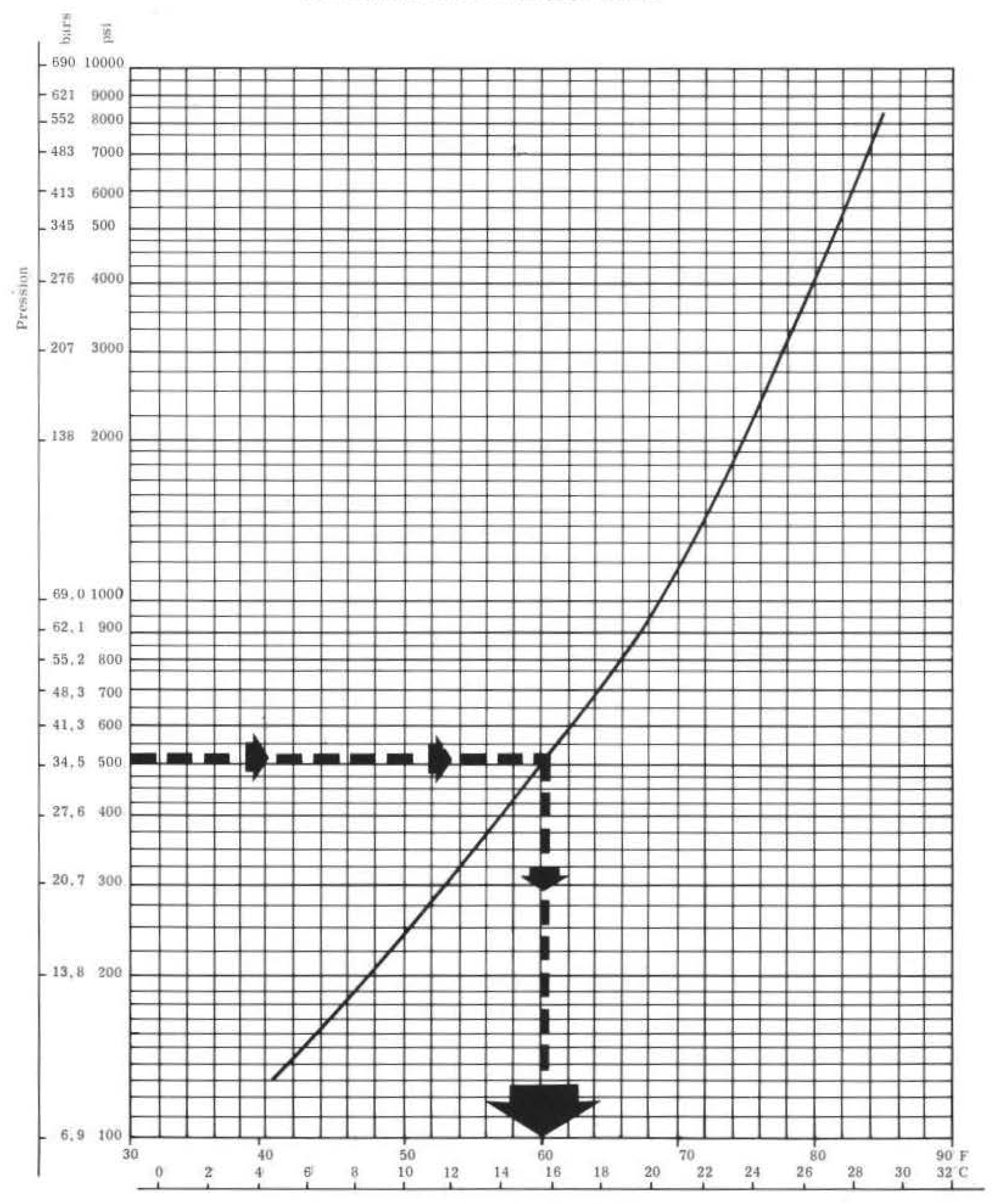


Fig. X.10. — BAISSE DE TEMPÉRATURE DUE A LA CHUTE DE PRESSION POUR UN GAZ NATUREL

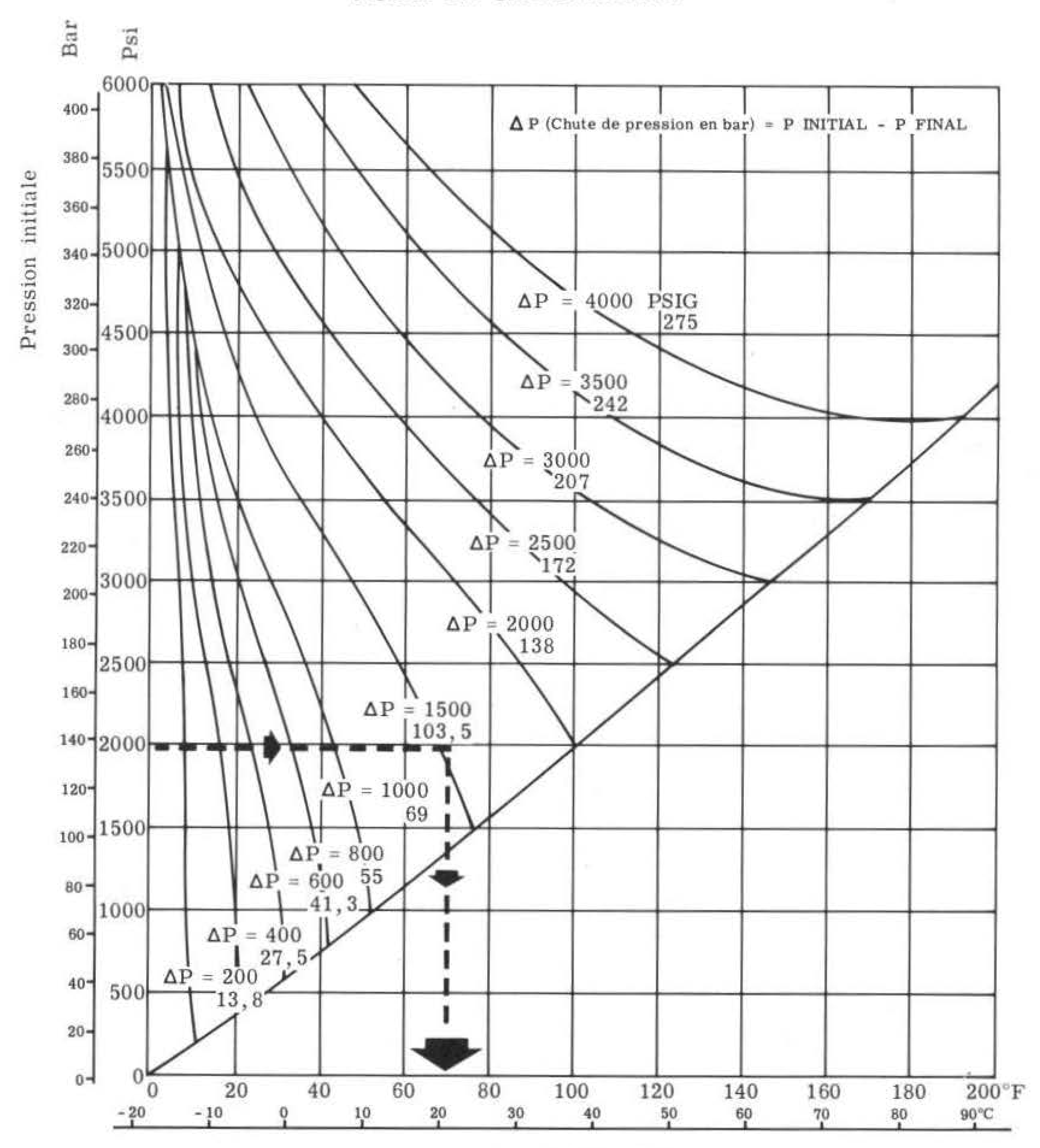


Fig. X.11. — CHALEUR SPÉCIFIQUE POUR LES GAZ NATURELS

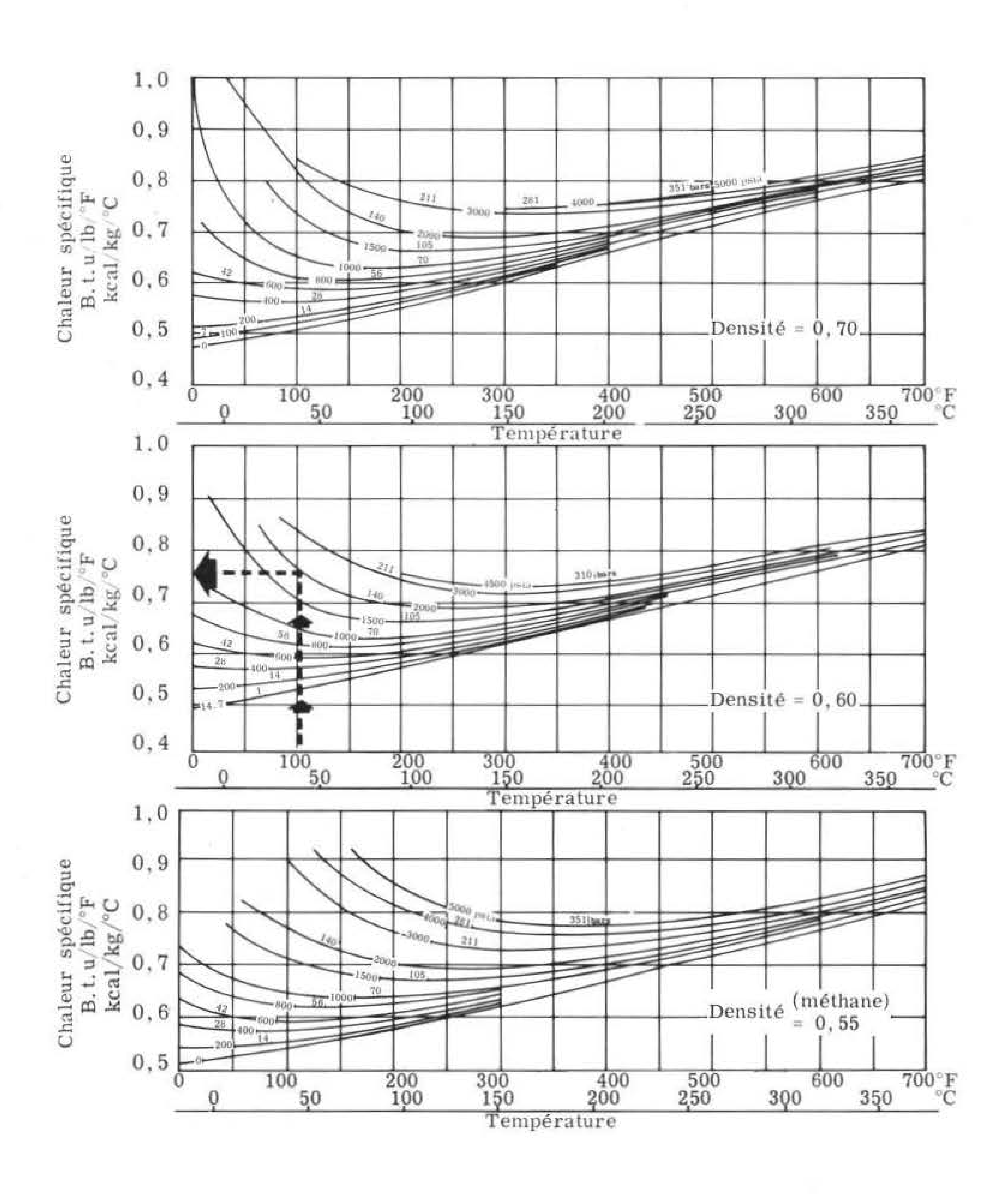


Fig. X.12 a. — « U » POUR RÉCHAUFFAGE DE GAZ

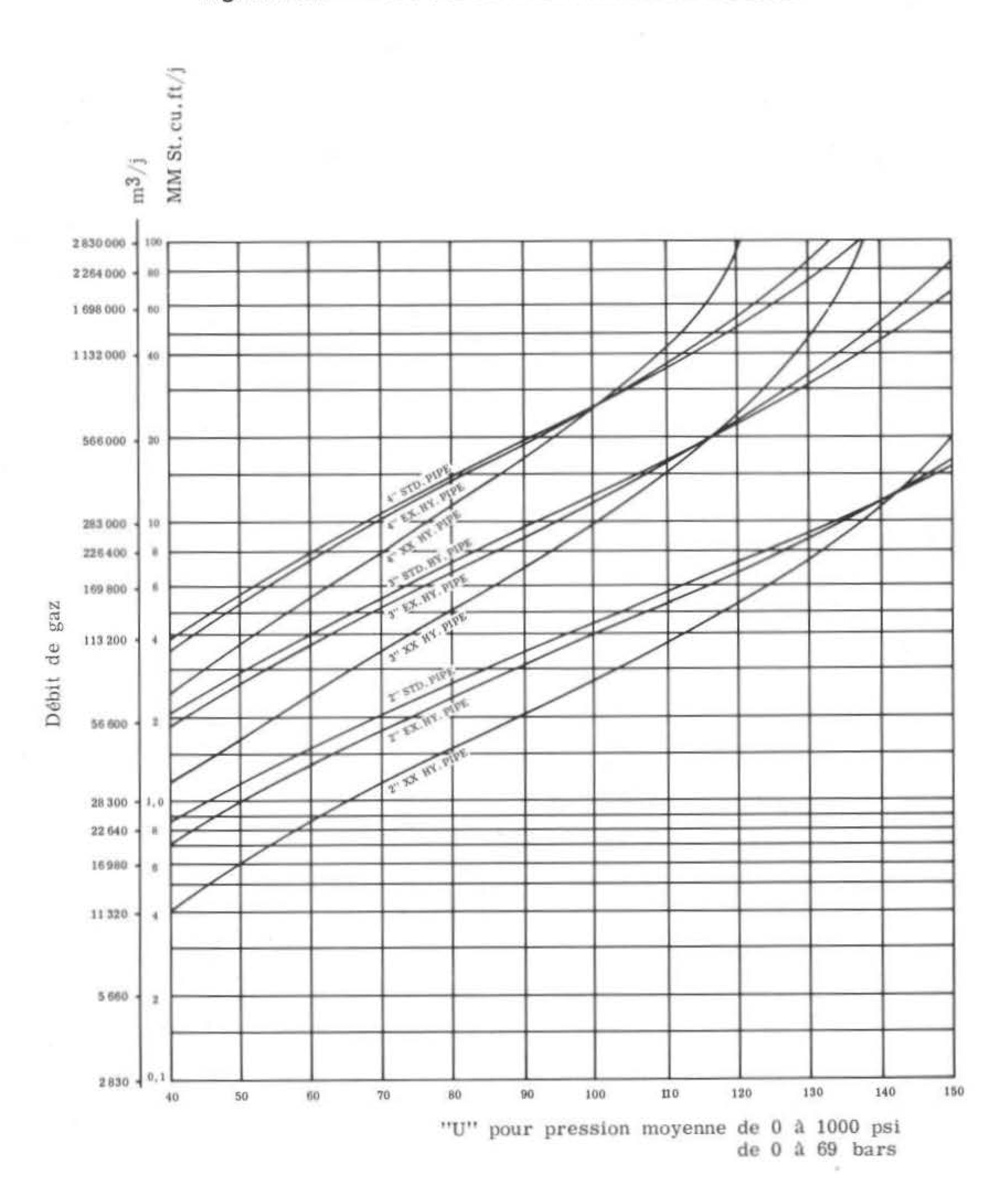


Fig. X.12 b. — « U » POUR RÉCHAUFFAGE DE GAZ

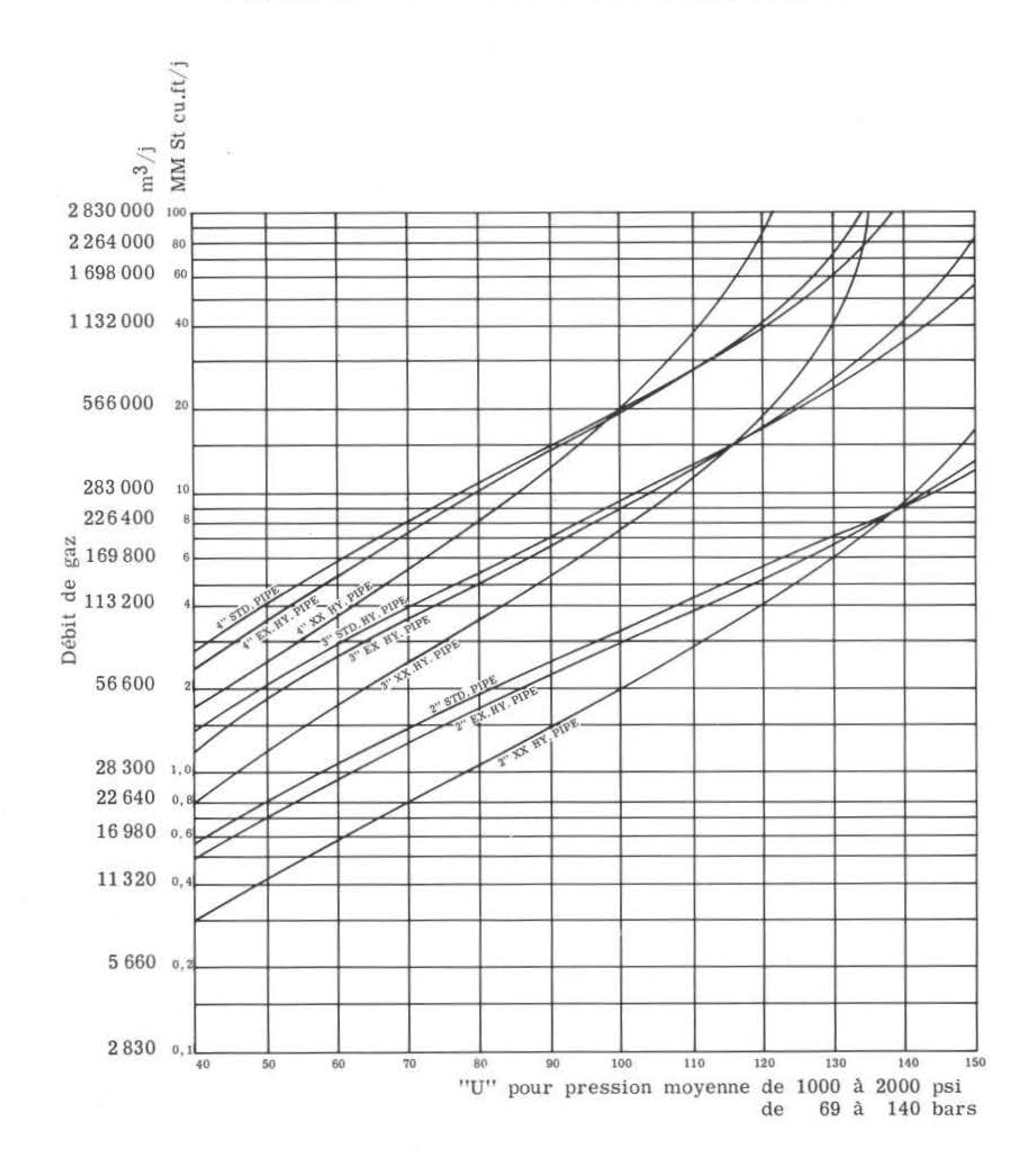
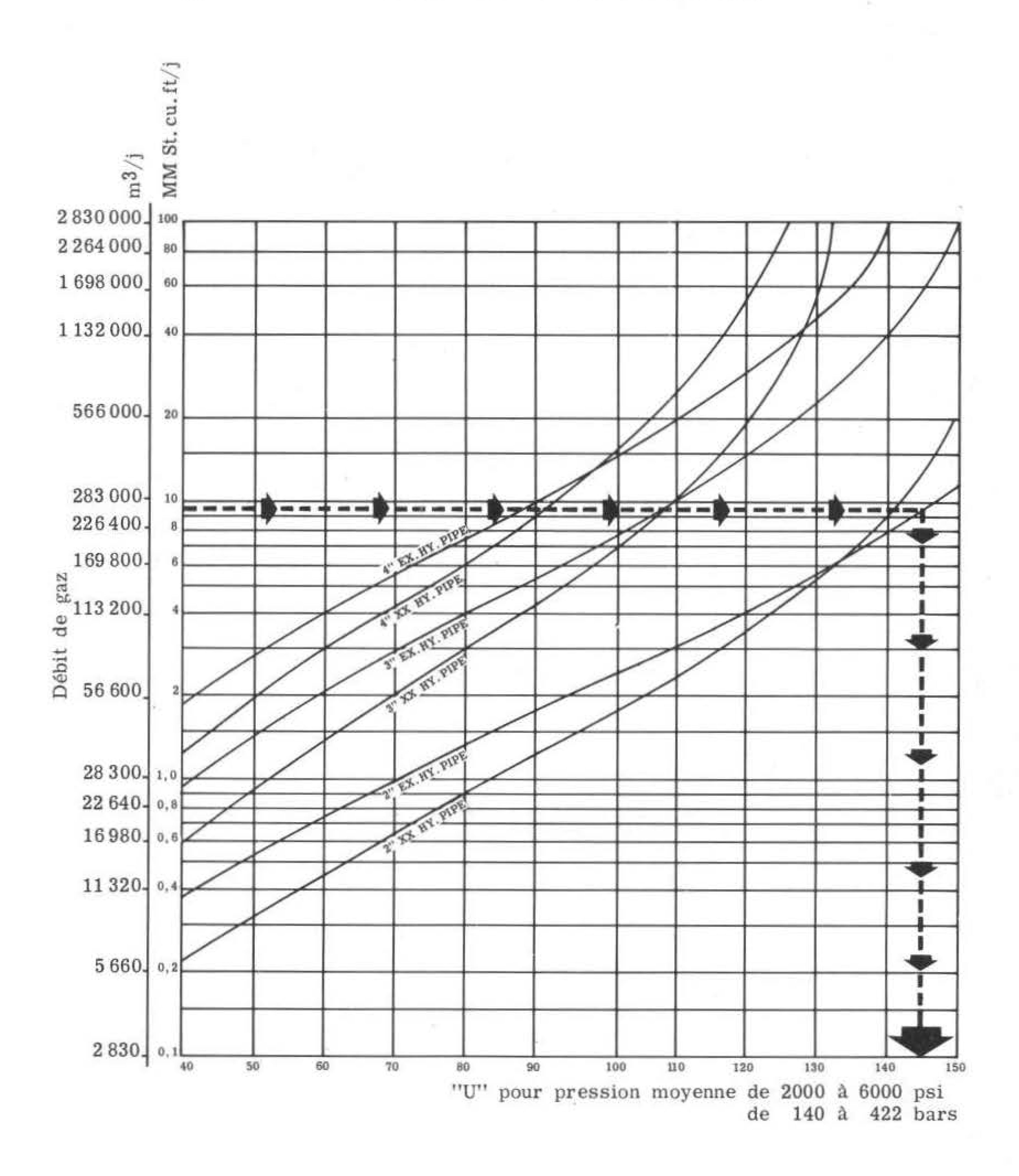


Fig. X.12 c. — « U » POUR RÉCHAUFFAGE DE GAZ



CHAPITRE XI

chapitre XI

RÉGULATION

SOMMAIRE

DÉFINITION DU C_V DES VANNES AUTOMATIQUES

Définition

Le C_V d'une vanne automatique est le débit d'eau de densité 1 exprimé en gallon par minute qui provoquerait une perte de charge de 1 psi dans la vanne.

Formules

Pour les liquides :

$$C_V = Q\sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} \qquad \text{(Q en gpm - } \Delta P \text{ en psi)}$$

$$C_V = 1,17\, Q\sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} \qquad \text{(Q en } m^3/h \text{ - } \Delta P \text{ en } kg/cm^2\text{)}$$

Pour les gaz :

$$C_V = \frac{Q_V}{406}\sqrt{\frac{\delta\,.\,T}{\Delta P\,.\,P_a}} \qquad (Q_V \text{ en } m^3/h \text{ - T en °Kelvin } \Delta P \text{ en } kg/cm^2)$$

Pour la vapeur :

$$C_V = \frac{Q_p}{27,1\sqrt{\Delta P.\bar{\omega}}} \qquad (Q_p \text{ en } kg/h \text{ - } \bar{\omega} \text{ en } kg/m^3 \; \Delta P \text{ en } kg/cm^2)$$

avec ΔP : perte de charge;

ρ : densité du liquide ;

δ : densité du gaz par rapport à l'air ;

$\bar{\omega}$: poids spécifique de la vapeur à l'aval ;

Q_V : débit volumique à 15°C et 760 mm Hg ;

Q_p : débit massique ;

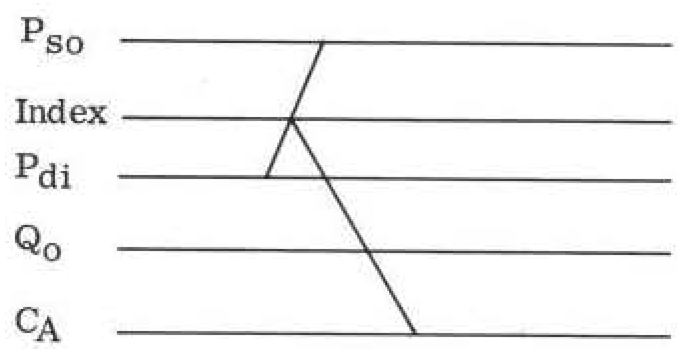
T : température absolue de l'écoulement.

MODE D'EMPLOI DES ABAQUES DES C_V DES VANNES AUTOMATIQUES (GAZ et AIR)

TROUVER LE C_A D'UNE VANNE

connaissant : la pression amont absolue (P_1),- la pression aval absolue (P_2) - le débit standard (15°C - 1 kg/cm^2) (abaque n° XI. 1).

Tracer une droite partant de l'échelle "somme des pressions" P_{so}, à l'échelle "différence des pressions" P_{di}. Marquer l'intersection avec l'échelle "Index". Tracer une nouvelle droite partant du point trouvé sur l'échelle "Index" et passant par l'échelle des débits Q_o (débit standard). Son prolongement donne, sur l'échelle C_A, le coefficient de vanne recherché, pour de l'air.

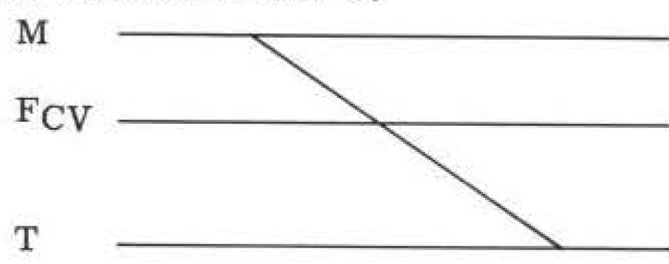


CONVERTIR LE COEFFICIENT STANDARD D'UNE VANNE POUR L'AIR (C_A) EN COEFFICIENT STANDARD POUR LE GAZ (C_V) (abaque n° XI. 2)

connaissant : C_A - poids moléculaire du gaz M - température absolue amont T.

Tracer une droite partant du poids moléculaire sur l'échelle "M", à l'échelle de la température absolue amont "T". L'intersection de cette droite avec l'échelle "F_{CV}" nous donne la valeur à appliquer au C_A pour obtenir le C_V de la vanne :

$$C_V = C_A \times F_{CV}$$

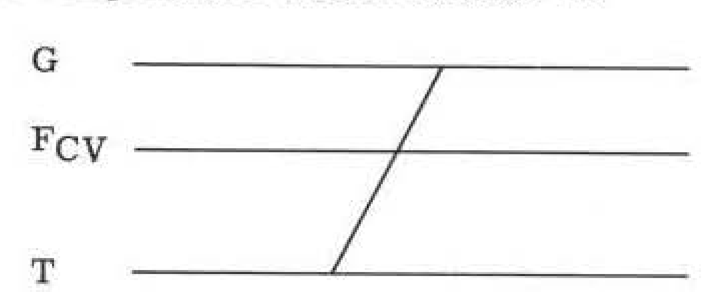


TROUVER LE COEFFICIENT DE VANNE C_A (abaque n° XI. 2)

connaissant : le coefficient de vanne C_V - la densité G - la température amont absolue T.

Tracer une droite allant de la densité sur l'échelle "G" à la température amont absolue sur l'échelle "T". L'intersection de cette droite avec l'échelle "F_{CV}" nous donne la valeur à appliquer au C_V pour obtenir le C_A :

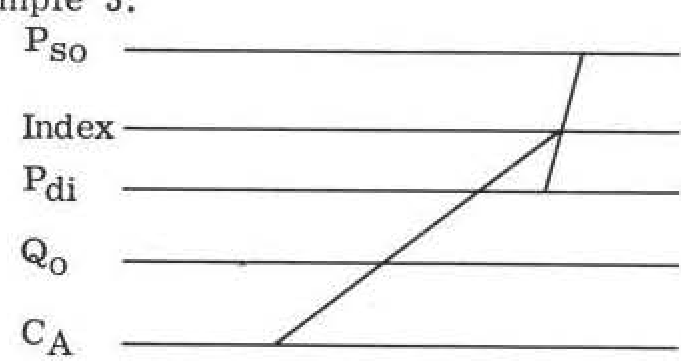
$$C_A = C_V \times F_{CV}$$



TROUVER LE DEBIT MAXIMUM POSSIBLE A TRAVERS UNE VANNE AUTOMATIQUE

connaissant : le coefficient de vanne C_V - la température amont absolue - la densité - la valeur du C_A de la vanne est obtenue en suivant l'exemple 3.

Tracer une droite de l'échelle "somme des pression" P_{so} à l'échelle "différence des pressions" P_{di}. Marquer l'intersection de cette droite avec l'échelle "Index". De ce point trouvé sur l'échelle "Index", tracer une droite à l'échelle du "C_A". L'intersection avec l'échelle "Q_o" nous donne la valeur de débit recherchée.



Nota :

P_c : pression critique de débit;
P_c : pression amont x 0,55.
Il faut toujours que la pression critique de débit soit supérieure à la pression aval. Si la pression aval est supérieure à la pression critique, prendre la pression critique comme valeur.

Fig. XI.1. — ABAQUE DES C_v DES VANNES AUTOMATIQUES (GAZ ET AIR)

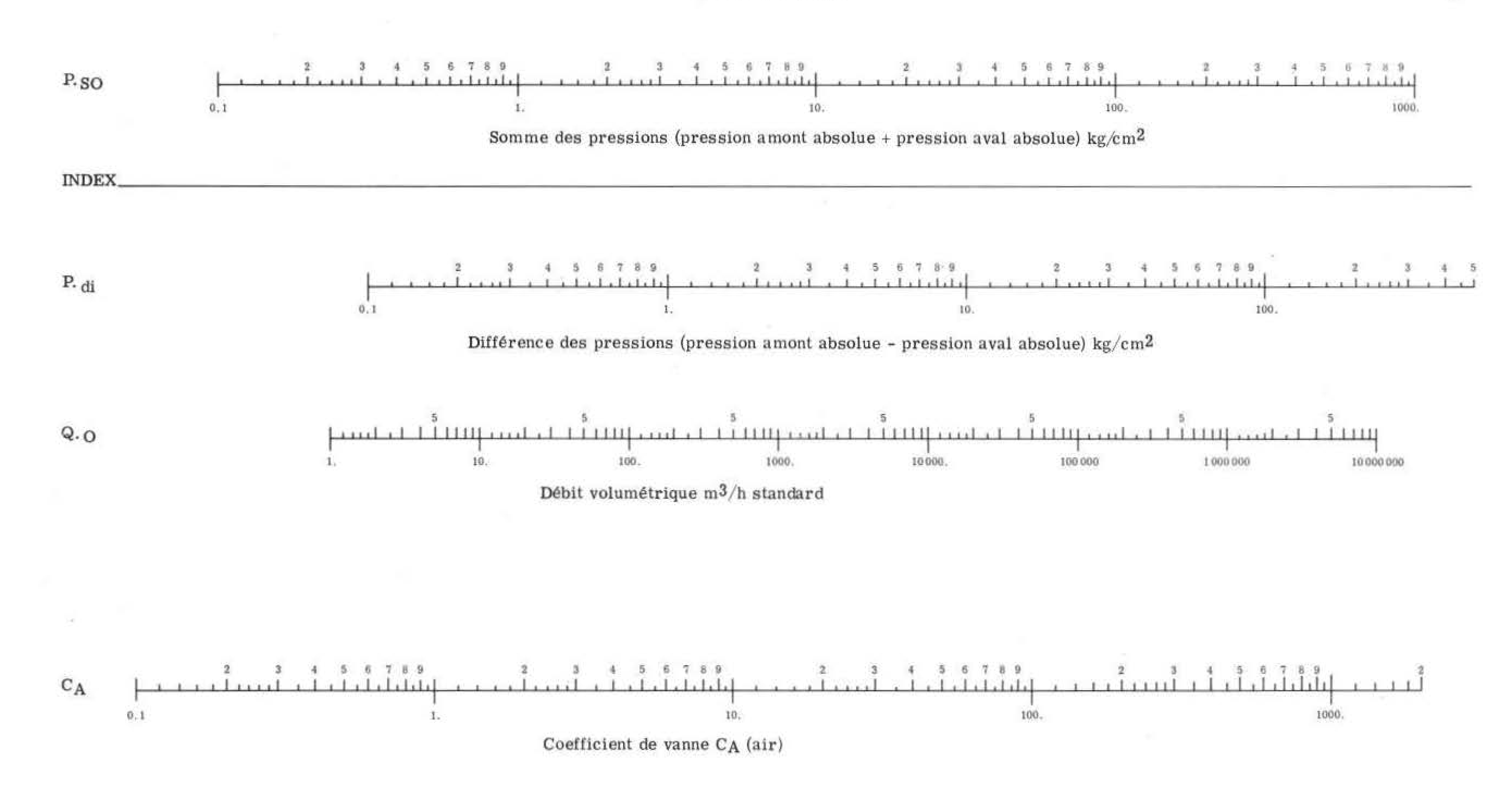
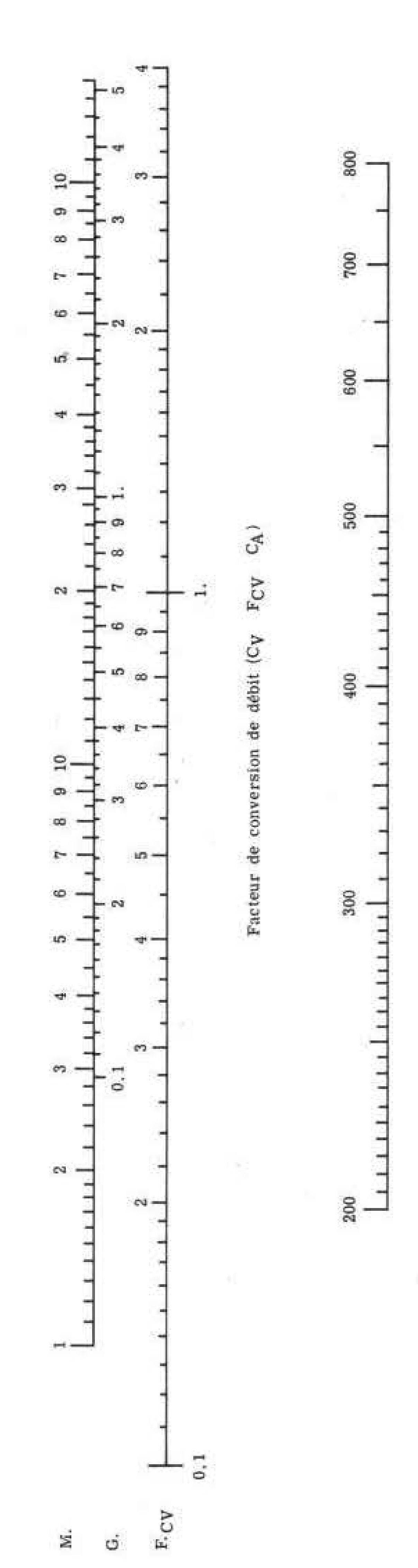


Fig. XI.2. — ABAQUE DES C_v DES VANNES AUTOMATIQUES (GAZ ET AIR)

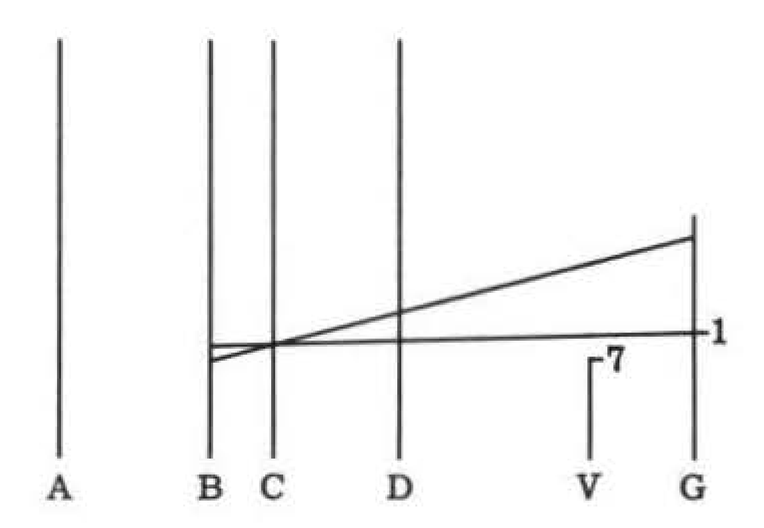


MODE D'EMPLOI DE L'ABAQUE DES C_V DES VANNES AUTOMATIQUES (LIQUIDES) (fig. XI. 3)

1) Si la densité du liquide est différente de 1, corriger la valeur du débit donné en un débit d'eau par la méthode suivante :

a) Tracer une droite de l'échelle des débits "B" à l'échelle des densités "G" et marquer l'intersection de cette droite avec l'échelle "C".

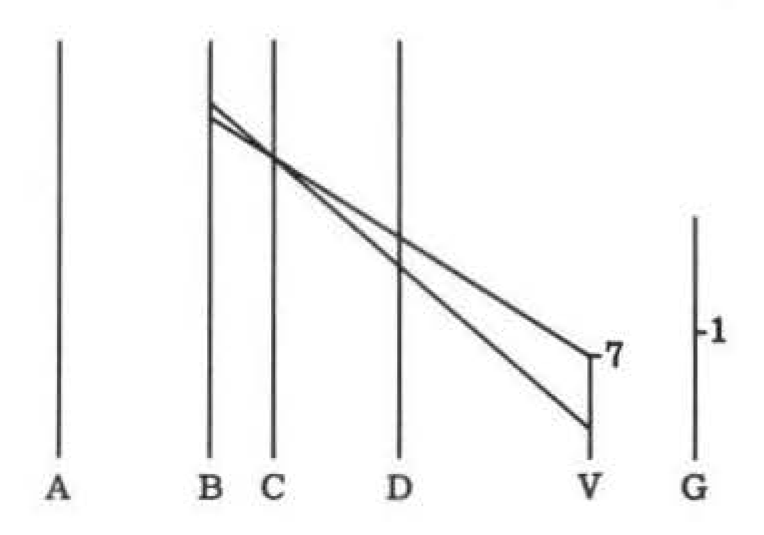
b) Tracer une droite de la densité 1 de l'échelle "G" passant par le point positionné précédemment en "C" et prolonger sur l'échelle "B". On obtient ainsi un débit pour un liquide de densité égale à 1.



2) Si la viscosité du liquide est supérieure à 7 cSt, corriger la valeur du débit en un débit d'eau.

a) Tracer une droite de l'échelle des débits "B" (débit corrigé par la densité) à l'échelle de la viscosité "V" et marquer l'intersection de cette droite avec l'échelle "C".

b) Tracer une droite de la ligne de base de la viscosité (7 cSt) passant par le point positionné précédemment en "C" et prolonger sur l'échelle "B". On obtient ainsi la valeur du débit corrigée par la viscosité.



3) Tracer une droite de l'échelle de la pression différentielle "A" passant par l'échelle des débits "B" (débit corrigé par la densité et la viscosité). On obtient sur l'échelle "D" la valeur recherchée du C_V.

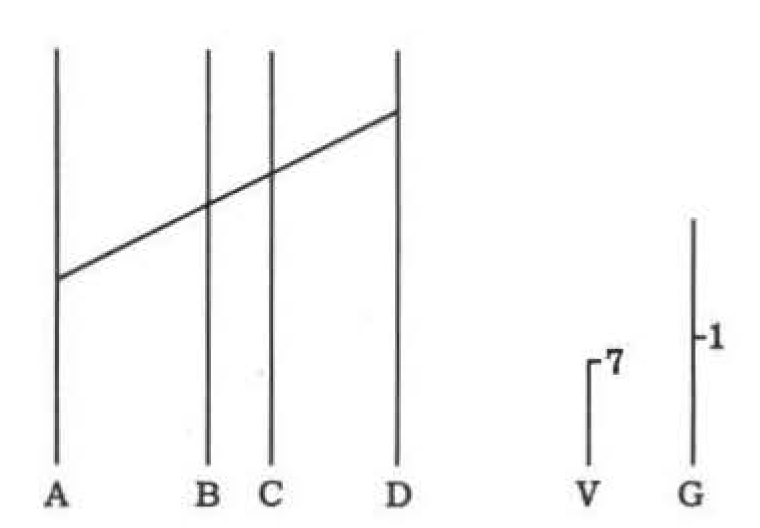


Fig. XI.3. — ABAQUE DES C_v DES VANNES AUTOMATIQUES (LIQUIDES)

G — Densité: 0,5 0,6 0,7 0,8 1,2 1,3 1,4 1,5 2

Degrés A.P.I.: 100 50 20 10

Degrés Baumé: 20 30 40 50 60 70

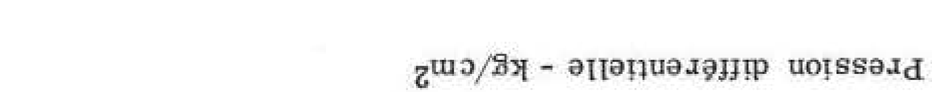
Ligne de base

V — Viscosité - Centistokes: 7 10 20 30 40

D — Coefficient de vanne - Cv: 0,1 0,5 1 5 10 50 100 500 1000

C

B — Débit - l/mn: 0,1 0,5 1 5 10 50 100 500 1000 5000 10 000 50 000 100 000



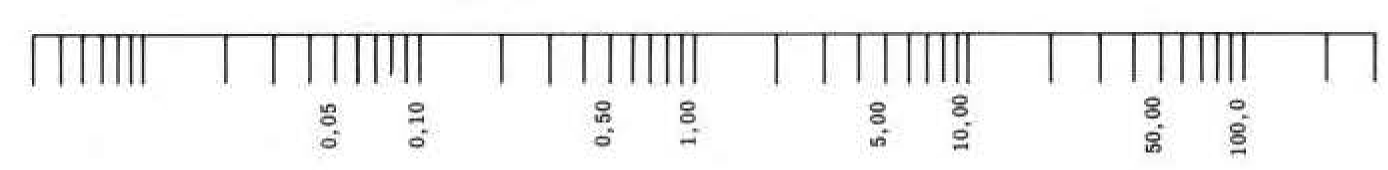
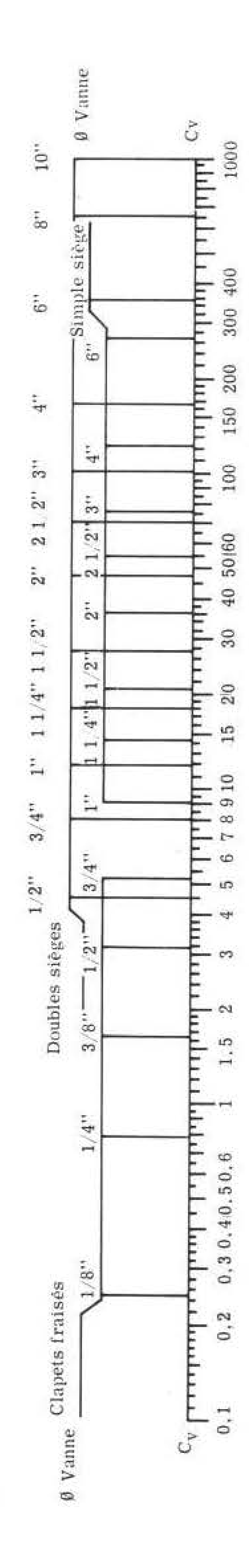


Fig. XI.4. — CORRESPONDANCE ENTRE C_v ET LE DIAMÈTRE DE LA VANNE



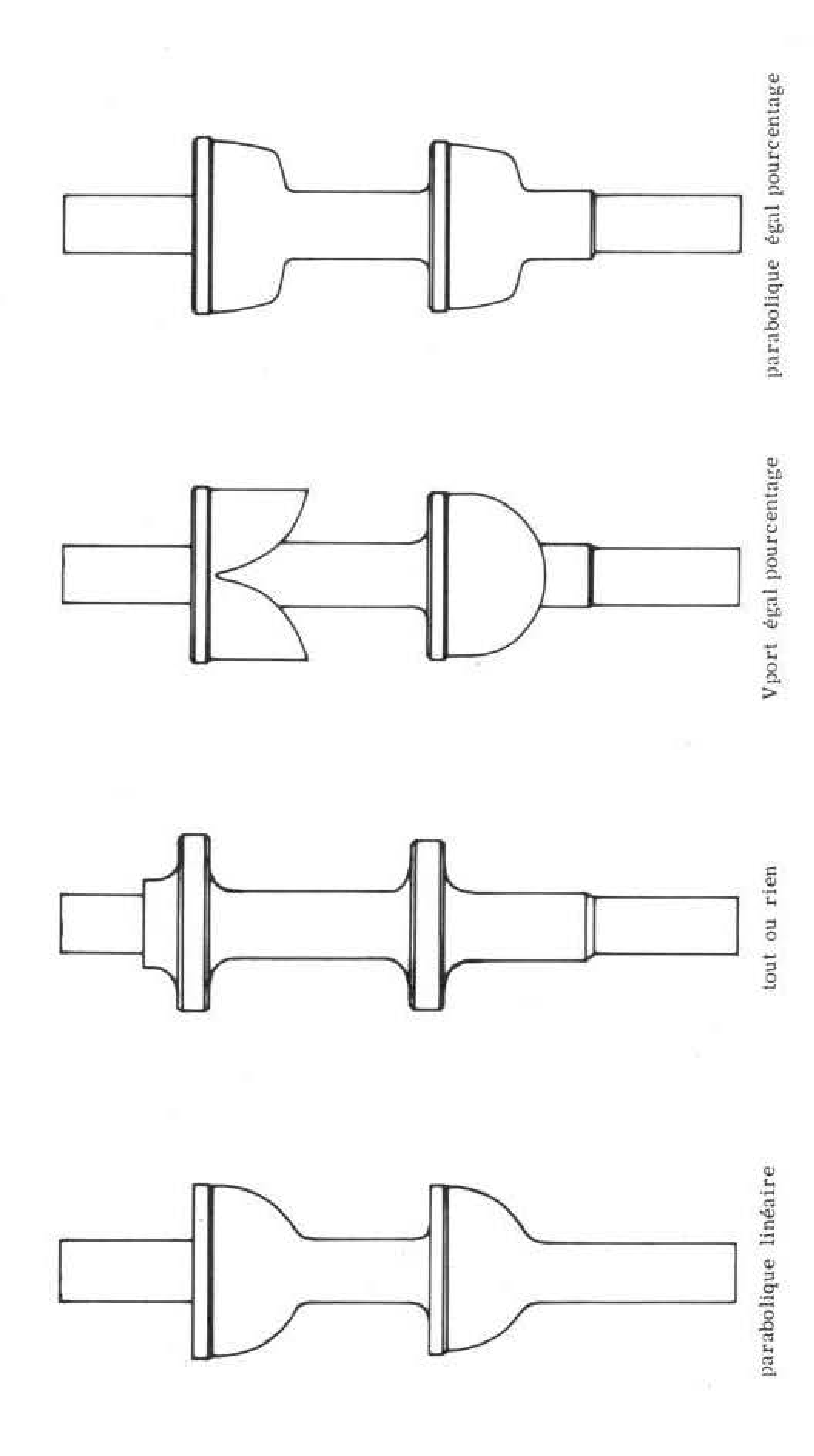
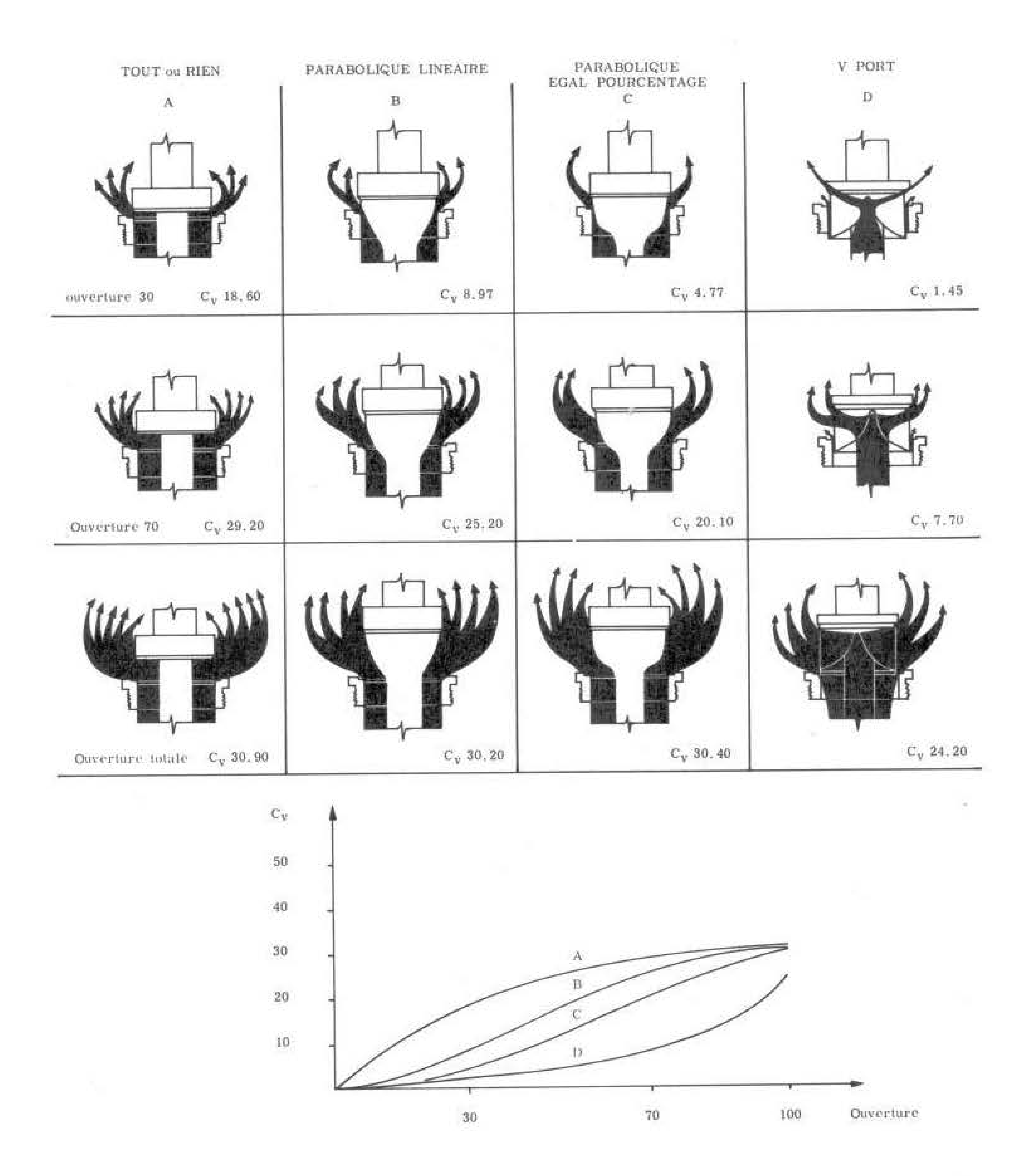


Fig. XI.5. — VANNES AUTOMATIQUES. LES DIFFÉRENTS CLAPETS

Fig. XI.6. — INFLUENCE DU CLAPET SUR LE C_v (POUR UNE VANNE DE 1" 1/2)



SOUPAPE DE SÉCURITÉ

Caractérisée par :

- diamètre bride entrée ;
- diamètre bride sortie ;
- lettre définissant orifice ou buse ; exemple : 4" x Q x 6" ASA 600 RJ ;
- série de pression A. P. I. ou A. S. A.

TABLEAU DES ORIFICES DES SOUPAPES DE SÉCURITÉ

	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	T
Sq/in	0,11	0,196	0,307	0,503	0,785	1,287	1,838	2,853	3,6	4,34	6,38	11,05	16	26
cm^2	0,71	1,27	1,98	3,25	5,06	8,30	11,85	18,4	23,2	28	41,20	71,4	103	168

Calcul des orifices

- Gaz $$A = \frac{1}{55,7} \frac{Q\sqrt{d}\ \sqrt{t}}{C_1\ P_1}$$

- Liquides (surpression 25%) $$A = \frac{1}{60,7} \frac{Q\sqrt{d}}{\sqrt{P}}$$

- Vapeurs $$A = 1,245 \frac{W}{C_1\ P_1} \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{m}}$$

- Air $$A = \frac{1}{19325} \frac{Q\sqrt{t}}{P_1}$$

- Vapeur saturée $$A = \frac{W}{51\ P_1}$$

Ces formules ne sont valables que pour des contre-pressions inférieures à 55% de la pression de tarage.

A : Section de la buse en cm^2 ;

W : Débit de vapeur en kg/h ;

Q : Débit en dm^3/mn (ramené à 0°C et 1,013 bar pour vapeurs et gaz) ;

P_1 : Pression absolue de décharge en bars (pression de tarage + contre-pression + % surpression + 1,013 bar) ;

P : Pression de tarage en bars (pression de levée moins contre-pression) ;

T : Température absolue en °K (température en °C + 273) ;

M : Masse moléculaire ;

d : Densité (pour vapeurs et gaz, par rapport à l'air) (air = 1) ;

C_1 : C_{ASME} x K = C x 0,975 (voir tableau ci-dessous) avec $Y = \frac{C_p}{C_v}$

Coefficient C_1													
Y	C_1	Y	C_1	Y	C_1	Y	C_1	Y	C_1	Y	C_1	Y	C_1
1,001	307	1,10	319	1,20	329	1,30	338	1,40	347	1,50	355	1,60	363
1,02	310	1,12	321	1,22	331	1,32	340	1,42	349	1,52	357	1,62	365
1,04	312	1,14	323	1,24	332	1,34	342	1,44	350	1,54	359	1,66	368
1,06	314	1,16	325	1,26	334	1,36	343	1,46	352	1,56	360	1,70	371
1,08	316	1,18	327	1,28	336	1,38	345	1,48	354	1,58	362	2	390

VANNE DE SÉCURITÉ DE FOND

Formules de base

Pertes de charge dans la vanne de fond :

$$\Delta P = 622 \frac{Q^2 \times B^2 \times d}{D^4}$$

Equilibre du clapet

$$\frac{\pi}{4}(\emptyset^2 - D^2) \times \Delta P = R\,(S + e)$$

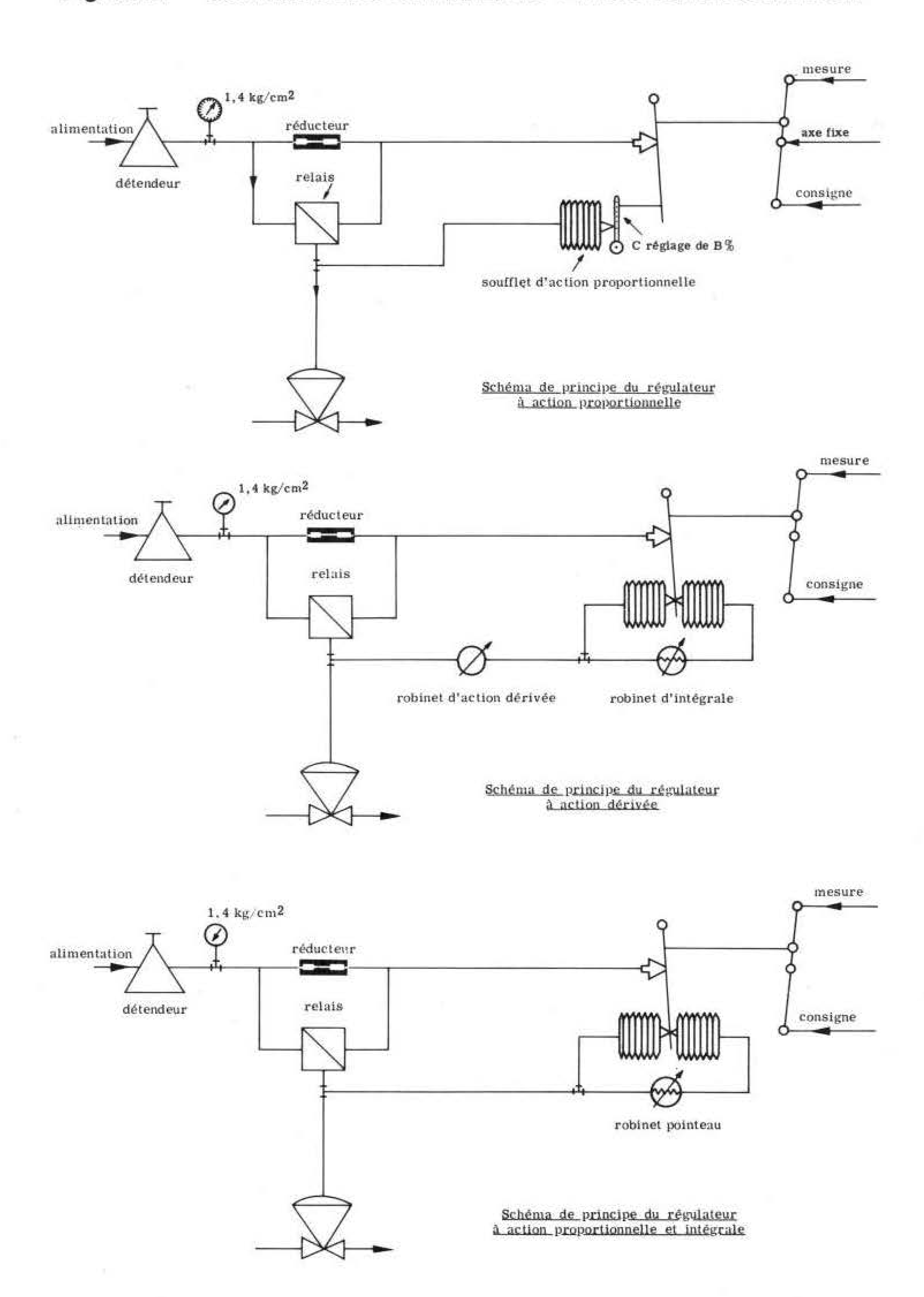
avec ΔP : pertes de charge dans la duse en kg/cm²;
- Q : débit d'huile mesuré au stockage en m³/h;
- D : diamètre de la duse en mm;
- B : formation volume Factor amont duse;
- d : densité du fluide par rapport à l'eau (amont duse);
- ø : diamètre de la rallonge de duse en mm;
- R : dureté du ressort en kg/mm;
- e : épaisseurs des entretoises (spacers) en mm.

ø, R et S dépendent du diamètre de la vanne. Ils sont donnés par le constructeur.

Exemple :

	ø	R	S
Vanne 2 1/2"	25,4	1,28	9,5
Vanne 3"	34,9	0,61	12,7

Fig. XI.7. — SCHÉMA DES DIFFÉRENTS TYPES DE RÉGULATEUR



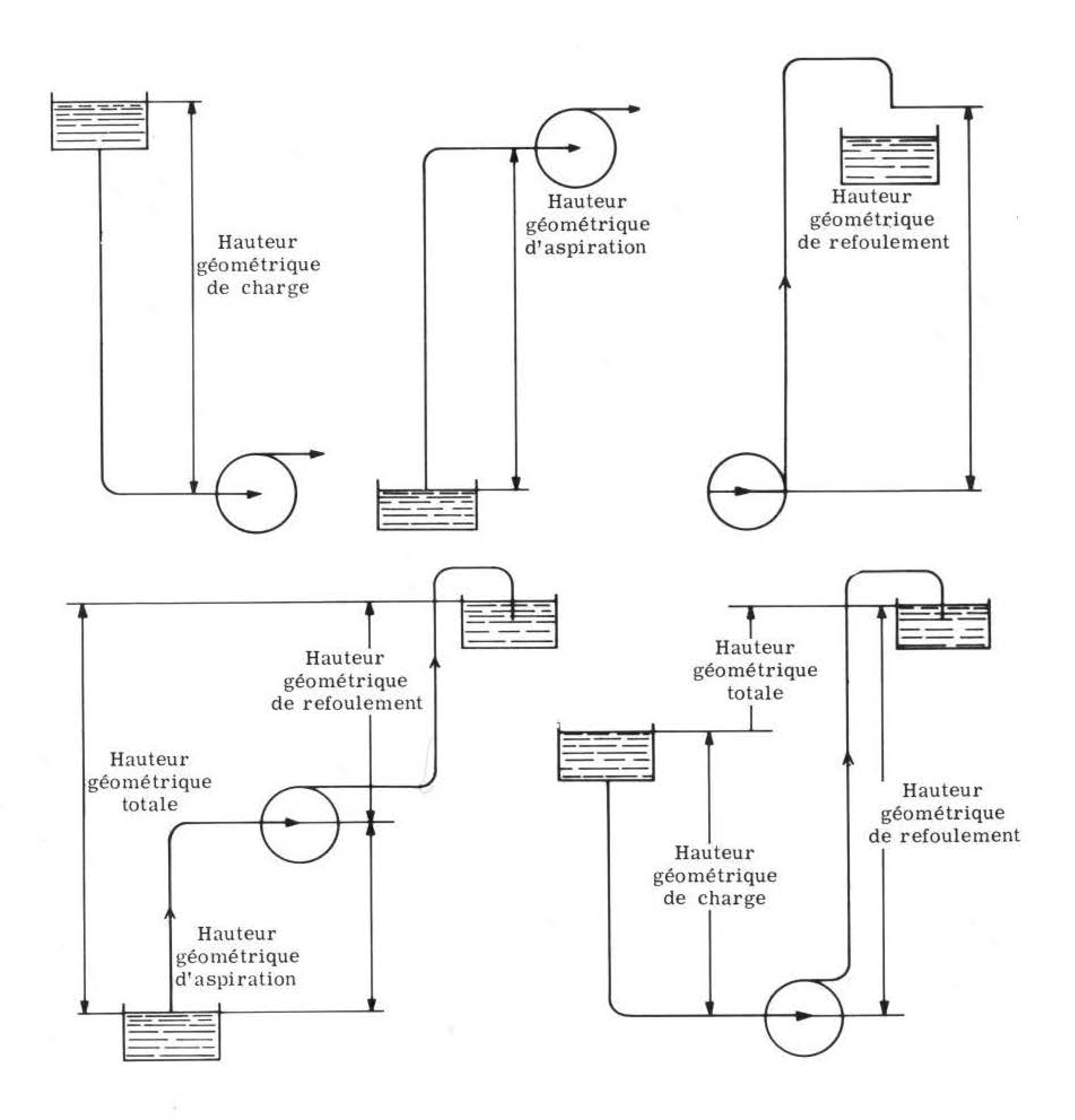
CHAPITRE XII

chapitre **XII**

POMPES CENTRIFUGES

SOMMAIRE

1. EXEMPLES DE HAUTEURS GÉOMÉTRIQUES



2. POMPES VOLUMÉTRIQUES

2.1. Pompes volumétriques à piston à double effet Duplex, (types pompes de forage)

DEBIT THEORIQUE

$$Q = 0{,}0515\ n\ L\ (D^2 - \frac{d^2}{2})$$

Q : débit en l/mn ;

n : nombre de coups/mn ;

D : diamètre de la chemise en pouce ;

d : diamètre de la tige de piston en pouce ;

L : course du piston en pouce.

PUISSANCE HYDRAULIQUE

$$P = \frac{p \times Q}{441{,}5} \qquad P = 1{,}67.10^{-3}\ p \times Q$$

P : puissance	ch	kW
Q : débit réel	l/mn	l/mn
p : pression de refoulement	bar	bar

rendement mécanique : 0,85

rendement volumétrique : 0,8 à 0,95

2.1. Pompes volumétriques à piston à simple effet

DEBIT

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \times L \times n$$

3. POMPES CENTRIFUGES

3.1. N.P.S.H.

DEFINITION DU N.P.S.H. (NET POSITIVE SUCTION HEAD) OU HAUTEUR D'ASPIRATION NECESSAIRE

Le N.P.S.H. requis pour une pompe centrifuge représente la pression indispensable à la bride d'aspiration de la pompe pour un fonctionnement correct de celle-ci (sans cavitation).

Il est donné par le constructeur en mètres de liquide pompé et croît avec le débit.

CALCUL DU N. P. S. H. DISPONIBLE

$$\text{N.P.S.H. disponible} = (P_A \text{ ou } P) - [HGA + TV + p_c]$$
$$\text{ou} = (P_A \text{ ou } P) + HGC - [TV + p_c]$$

P_A : pression atmosphérique régnant sur le liquide ;
P : pression régnant sur le liquide ;
HGA : hauteur géométrique d'aspiration ;
HGC : hauteur géométrique de charge ;
TV : tension de vapeur du liquide ;
p_c : pertes de charge dans la conduite d'aspiration.

Toutes ces grandeurs doivent être exprimées en mètres de liquide.

CONDITION DE BON FONCTIONNEMENT D'UNE POMPE CENTRIFUGE A L'ASPIRATION

Pour qu'une pompe centrifuge fonctionne correctement il est indispensable que le N.P.S.H. disponible soit supérieur ou au moins égal au N.P.S.H. requis fourni par le constructeur.

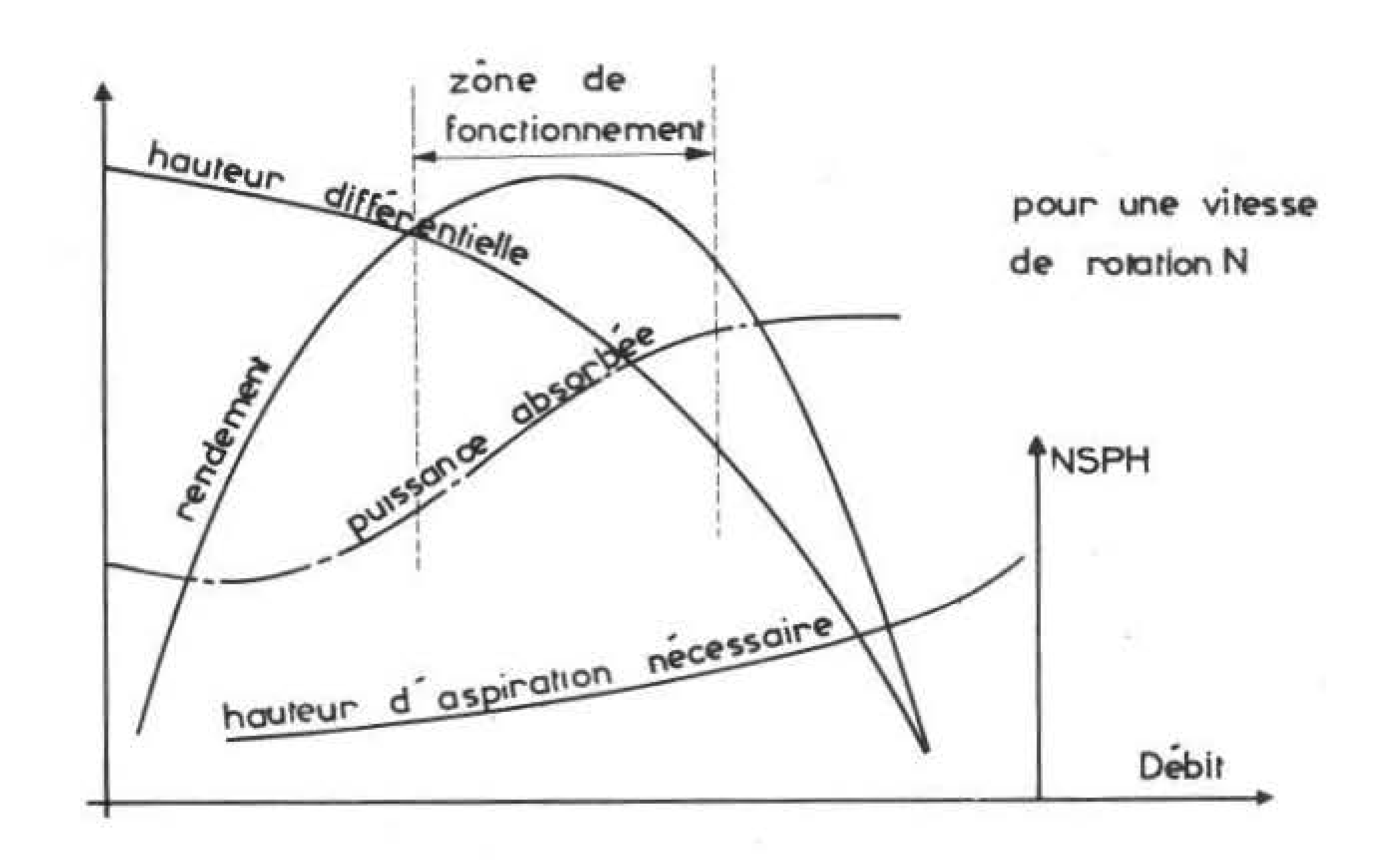
$$\text{N.P.S.H. disponible} > \text{N.P.S.H. requis}$$

VARIATION DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE AVEC L'ALTITUDE

$$P_A = 10,33 - \frac{\text{altitude en mètres}}{900}$$

P_A : pression atmosphérique exprimée en mètres d'eau.

3.2. Courbes caractéristiques des pompes centrifuges



VARIATION DES CARACTERISTIQUES DES POMPES CENTRIFUGES

avec la vitesse N

si :

Q_1 est le débit;
H_1 est la hauteur différentielle
P_1 est la puissance absorbée
} pour une vitesse N_1

on aura pour une vitesse N_2 :

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{N_2}{N_1}$$

$$H_2 = H_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

avec la densité du fluide pompé

si :

Q_1 est le débit
H_1 est la hauteur différentielle
p_1 est la pression de refoulement
P_1 est la puissance absorbée
} pour une densité d_1

on aura pour un fluide de densité d_2 :

$$Q_2 = Q_1$$

$$H_2 = H_1$$

(exprimé en mètres de liquide pompé dans chaque cas)

$$p_2 = p_1 \times \frac{d_2}{d_1}$$

$$P_2 = P_1 \times \frac{d_2}{d_1}$$

avec la viscosité du fluide pompé

Elle affecte toutes les caractéristiques de pompage.

Le débit, la hauteur différentielle et le rendement diminuent lorsque la viscosité augmente.

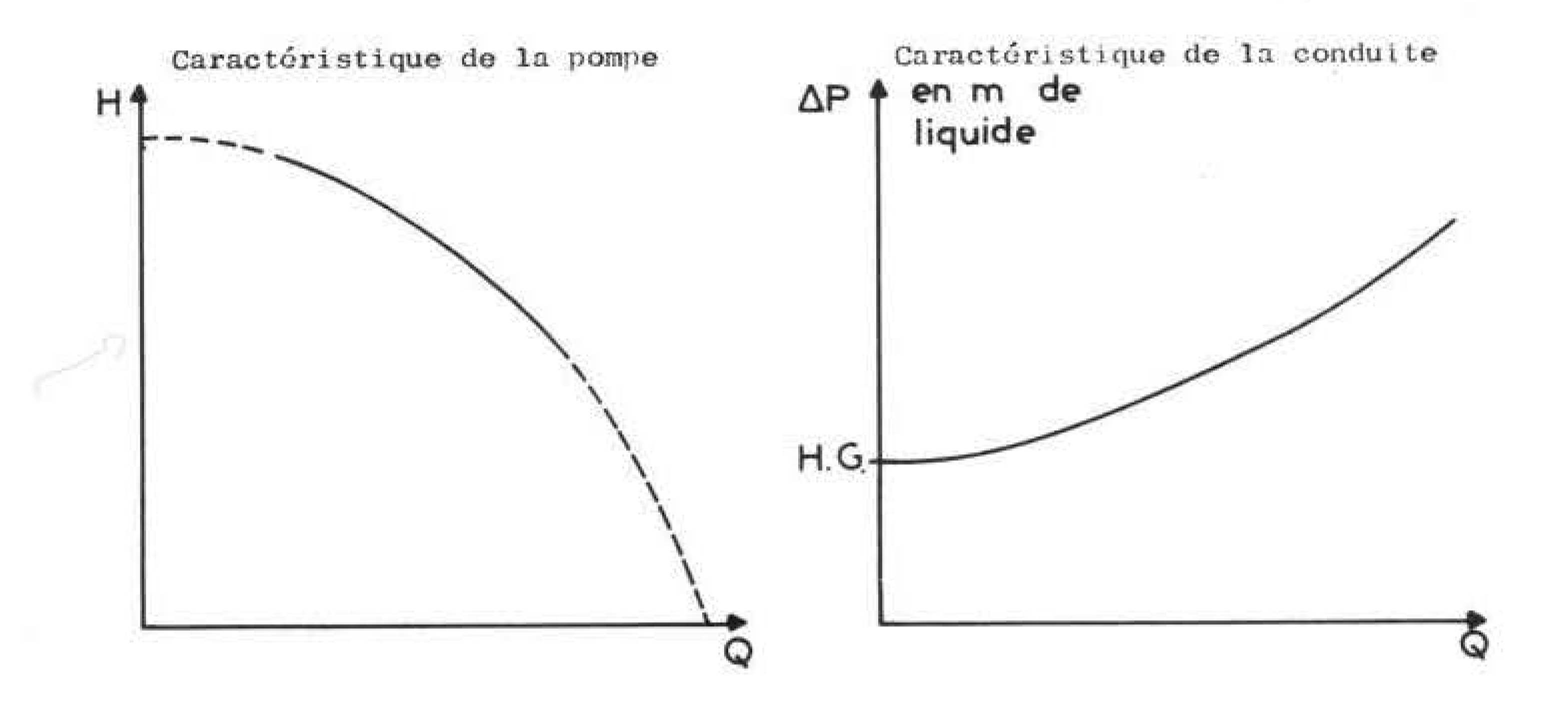
Seule la puissance absorbée augmente lorsque la viscosité augmente.

3.3. Utilisation des pompes centrifuges

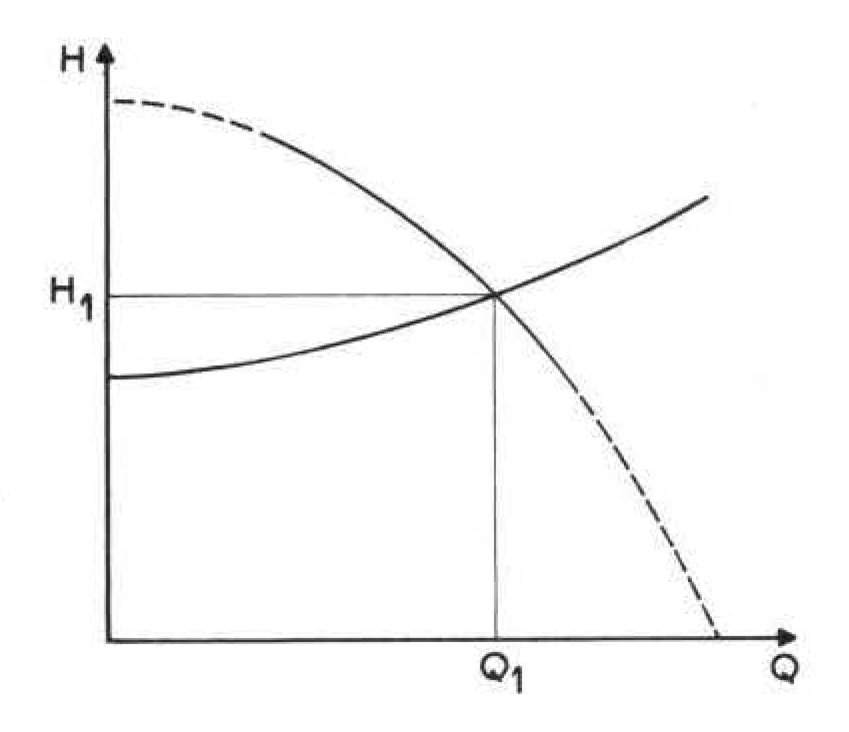
On appelle "Caractéristique d'une pompe" la courbe de variation de la hauteur différentielle avec le débit.

On appelle "Caractéristique d'une conduite" la courbe de variation des pertes de charge dans cette conduite (y compris les hauteurs d'élévation) exprimée en mètres de liquide.

Ces courbes ont en général l'allure suivante :



Le point de fonctionnement d'une pompe est donné par l'intersection de la caractéristique de la pompe avec la caractéristique de la conduite.



PUISSANCE ABSORBEE PAR UNE POMPE

La puissance absorbée par une pompe est donnée par la formule générale :

$$P = a \frac{Q \times H \times d}{R} \quad \text{ou} \quad b \frac{Q\,p}{R}$$

où P est la puissance absorbée ;

Q est le débit ;

R est le rendement ;

H est la hauteur différentielle ;

d est le poids volumique du fluide ;

p est la pression de refoulement ;

a et b, des coefficients qui dépendent des unités choisies.

Les formules pratiques sont les suivantes :

$$P = \frac{Q \times H \times d}{270 \times R} \qquad P = \frac{2{,}72.10^{-3}\,Q \times d}{R} \qquad P = \frac{Q \times p}{441{,}5 \times R}$$

P	ch	kW	ch
Q	m^3/h	m^3/h	l/mn
H	m	m	
p			bar
d	kg/l	kg/l	

Le rendement des pompes est souvent pris égal à 0,55.

3.4. Montage des pompes

MONTAGE EN PARALLELE

La caractéristique de l'ensemble de pompes en parallèle est obtenue en additionnant l'ensemble des points de même ordonnée des caractéristiques de chacune des pompes.

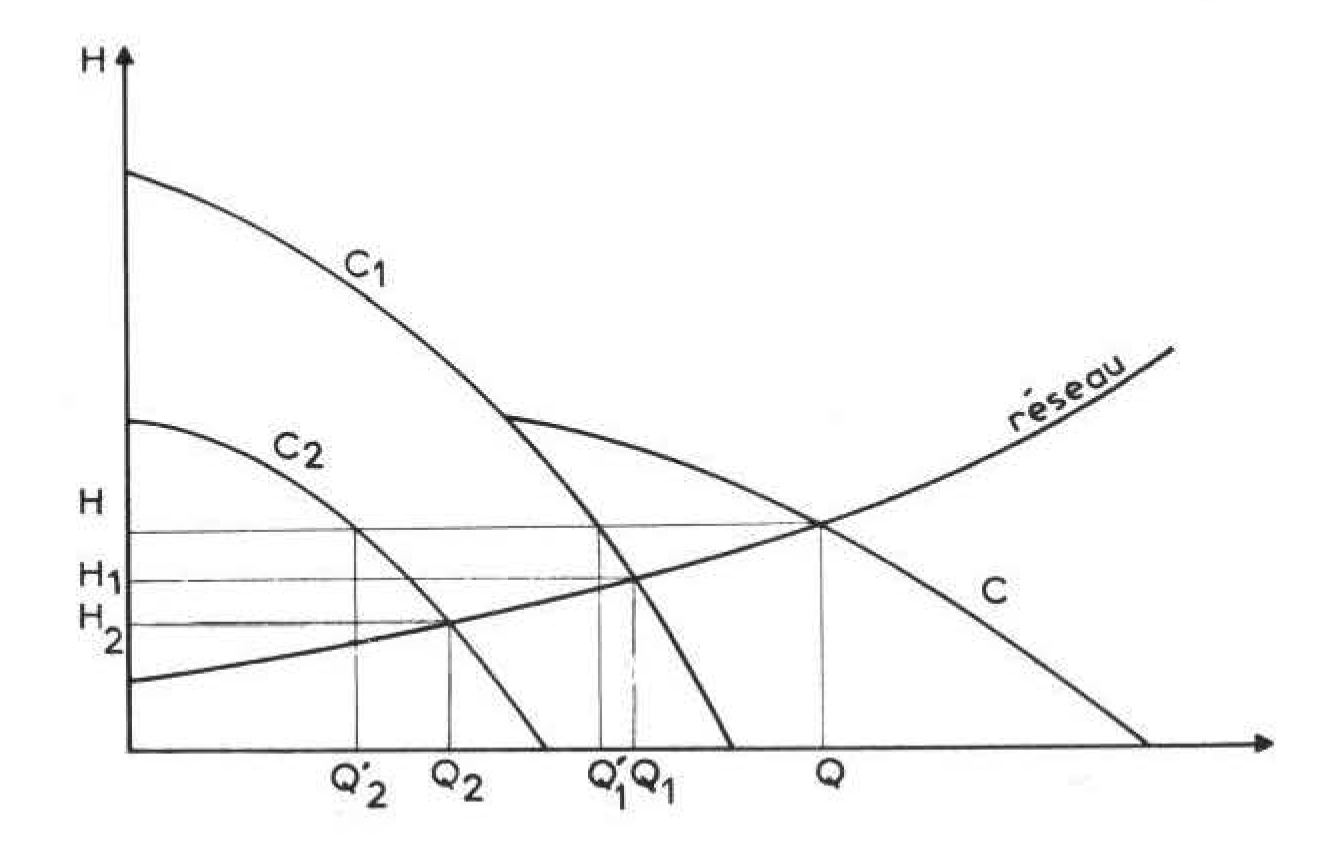
Le point de fonctionnement de l'ensemble est donné par l'intersection de la caractéristique de la conduite avec la caractéristique de l'ensemble.

Q_1 : débit de la pompe 1 fonctionnant seule sur la conduite ;

Q_2 : débit de la pompe 2 fonctionnant seule sur la conduite ;

$$Q < Q_1 + Q_2$$

$$Q = Q'_1 + Q'_2$$



MONTAGE EN SERIE

La caractéristique de l'ensemble de pompes en série est obtenue en additionnant l'ensemble des points de même abscisse des caractéristiques de chacune des pompes.

Le point de fonctionnement de l'ensemble est donné par l'intersection de la caractéristique de la conduite avec la caractéristique de l'ensemble.

chapitre **XIII**

FORMULES GÉNÉRALES POUR CALCULS ÉCONOMIQUES

SOMMAIRE

1. FORMULES DE BASE

Somme P placée à intérêt simple i % durant n années devient :

$$A = P\,(1 + ni) \qquad (1)$$

Somme P placée en intérêts composés :

$$A = P\,(1 + i)^n \qquad (2)$$

Annuité N à verser pour constituer un capital P au bout de n années :

$$N = \frac{P}{(1+i)} \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1} \qquad (3)$$

Annuité N amortissant, en n années avec un intérêt i %, une somme empruntée P :

$$N = P\,\frac{i\,(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad (4)$$

2. ACTUALISATION

La valeur actuelle Va d'un profit récupérable dans n années est égale au capital qui placé à ce jour donnerait après n années le profit considéré.

Valeur actuelle d'un profit A :

$$Va = \frac{A}{(1+i)^n} \qquad (5)$$

Valeur actuelle d'une annuité N payée en n années :

$$Va = N\,\frac{(1+i)^n - 1}{i\,(1+i)^n} \qquad (6)$$

Valeur actuelle des profits obtenus si pour un projet on investit un capital C pour obtenir des recettes annuelles I ... In :

$$Va = \frac{I1}{1+i} + \ldots\ldots + \frac{In}{(1+i)^n} - C \qquad (7)$$

3. EXPLOITATION D'UN CHAMP AVEC RECETTES ANNUELLES FIXES

Valeur actuelle Va des recettes annuelles de n années, en supposant que chaque recette annuelle I rentre au milieu de l'année :

$$Va = nIF \tag{8}$$

avec :

$$F = \frac{(1+i)^{1/2}}{i^n} \left(I - \frac{1}{(1+i)^n}\right)$$

$$I = q.i.$$

q : débit annuel du champ ;

i : recette unitaire.

4. EXPLOITATION D'UN CHAMP AVEC RECETTES ANNUELLES DÉCROISSANTES

Données de base :

qo : débit annuel initial du champ ;

i : recette unitaire ;

d : taux de déclin du champ (% par an) ;

qoi : recette de la première année : I ;

$In = qoi\,(1 - d)^n$ = recette pour la $n^{\text{ème}}$ année ;

j : intérêt continu défini par $e^j = 1 + r$ (r = intérêt annuel) ;

b : déclin continu défini par $e^{-b} = 1 - d$.

La valeur actuelle Va des recettes annuelles (décroissantes) :

$$Va = nIF \tag{9}$$

avec :

$$F = \frac{1 - e^{-n(b+j)}}{n(b+j)}$$

La formule (8) avec les données ci-dessus deviendrait :

$$Va = nIF \tag{8 bis}$$

avec :

$$F = \frac{1 - e^{-nj}}{nj}$$

Les calculs se font à l'aide de la courbe $\frac{1 - e^{-x}}{x}$

5. DÉFÉNITIONS DE BASE POUR LE CHOIX D'UN PROJET COMPORTANT DES RECETTES CROISSANTES

5.1. Délais de récupération ou "pay back time"

Nombre d'années exigées "n" pour que le puits, le champ ou l'installation rembourse l'investissement initial C avec les intérêts (r %).

n est donnée par :

$$C = n I F \tag{10}$$

(mêmes notations qu'au paragr. 4).

Remarque :

La notion de "pay out time" n'est en principe introduite que dans le cas de projet accéléré ou projet tel que l'on récupère par exemple plus rapidement les réserves en place en investissant une somme supplémentaire.

5.2. Pourcentage de profit à espérer

Valeur actuelle P_p des profits totaux à espérer en % de l'investissement initial C

$$P_p = \frac{t I F}{C} \times 100 \tag{11}$$

avec t : vie du puits ou du champs en années ;

$I = qoi$;

$F = \frac{1 - e^{-t(b+j)}}{t(b+j)}$

t peut être défini par :

$$qoe^{-bt} = ql \qquad \text{(ql = débit économique annuel)}$$

5.3. Taux interne de rendement ou "rate of return"

Intérêt continu R (en %) qui donne des entrées d'argent dont la valeur actuelle est égale à l'investissement initial C.

R est donné par :

$$C = t I F \tag{12}$$

avec $F = \frac{1 - e^{-t(b+R)}}{t(b+R)}$

t : vie du puits (ou du champ) en années ;

$I = qoi$.

L'intérêt "ordinaire" r est lié à R par $e^R = 1 + r$.

EXPONENTIEL (e^n et e^{-n})

n	e^n	Diff.	n	e^n	Diff.	n	e^n	n	e^{-n}	Diff.	n	e^{-n}	n	e^{-n}
0,00	1,000	10	0,50	1,649	16	1,0	2,718*	0,00	1,000	-10	0,50	0,607	1,0	0,368 *
0,01	1,010	10	0,51	1,665	17	1,1	3,004	0,01	0,990	-10	0,51	0,600	1,1	0,333
0,02	1,020	10	0,52	1,682	17	1,2	3,320	0,02	0,980	-10	0,52	0,595	1,2	0,301
0,03	1,030	11	0,53	1,699	17	1,3	3,669	0,03	0,970	- 9	0,53	0,589	1,3	0,273
0,04	1,041	10	0,54	1,716	17	1,4	4,055	0,04	0,961	-10	0,54	0,583	1,4	0,247
0,05	1,051	11	0,55	1,733	18	1,5	4,482	0,05	0,951	- 9	0,55	0,577	1,5	0,223
0,06	1,062	11	0,56	1,751	17	1,6	4,953	0,06	0,942	-10	0,56	0,571	1,6	0,202
0,07	1,073	10	0,57	1,768	18	1,7	5,474	0,07	0,932	- 9	0,57	0,566	1,7	0,183
0,08	1,083	11	0,58	1,786	18	1,8	6,050	0,08	0,923	- 9	0,58	0,560	1,8	0,165
0,09	1,094	11	0,59	1,804	18	1,9	6,686	0,09	0,914	- 9	0,59	0,554	1,9	0,150
0,10	1,105	11	0,60	1,822	18	2,0	7,389	0,10	0,905	- 9	0,60	0,549	2,0	0,135
0,11	1,116	11	0,61	1,840	19	2,1	8,166	0,11	0,896	- 9	0,61	0,543	2,1	0,122
0,12	1,127	12	0,62	1,859	19	2,2	9,025	0,12	0,887	- 9	0,62	0,538	2,2	0,111
0,13	1,139	11	0,63	1,878	18	2,3	9,974	0,13	0,878	- 9	0,63	0,533	2,3	0,100
0,14	1,150	12	0,64	1,896	20	2,4	11,02	0,14	0,869	- 8	0,64	0,527	2,4	0,0907
0,15	1,162	12	0,65	1,916	19	2,5	12,18	0,15	0,861	- 9	0,65	0,522	2,5	0,0821
0,16	1,174	11	0,66	1,935	19	2,6	13,46	0,16	0,852	- 8	0,66	0,517	2,6	0,0743
0,17	1,185	12	0,67	1,954	20	2,7	14,88	0,17	0,844	- 9	0,67	0,512	2,7	0,0672
0,18	1,197	12	0,68	1,974	20	2,8	16,44	0,18	0,835	- 8	0,68	0,507	2,8	0,0608
0,19	1,209	12	0,69	1,994	20	2,9	18,17	0,19	0,827	- 8	0,69	0,502	2,9	0,0550
0,20	1,221	13	0,70	2,014	20	3,0	20,09	0,20	0,819	- 8	0,70	0,497	3,0	0,0498
0,21	1,234	12	0,71	2,034	20	2,1	22,20	0,21	0,811	- 8	0,71	0,492	3,1	0,0450
0,22	1,246	13	0,72	2,054	21	2,2	24,53	0,22	0,803	- 8	0,72	0,487	3,2	0,0408
0,23	1,259	12	0,73	2,075	21	2,3	27,11	0,23	0,795	- 8	0,73	0,482	3,3	0,0369
0,24	1,271	13	0,74	2,096	21	2,4	29,96	0,24	0,787	- 8	0,74	0,477	3,4	0,0334
0,25	1,284	13	0,75	2,117	21	3,5	33,12	0,25	0,779	- 8	0,75	0,472	3,5	0,0302
0,26	1,297	13	0,76	2,138	22	3,6	36,60	0,26	0,771	- 8	0,76	0,468	3,6	0,0273
0,27	1,310	13	0,77	2,160	21	3,7	40,45	0,27	0,763	- 7	0,77	0,463	3,7	0,0247
0,28	1,323	13	0,78	2,181	22	0,8	44,70	0,28	0,756	- 8	0,78	0,458	3,8	0,0224
0,29	1,336	14	0,79	2,203	23	0,9	49,40	0,29	0,748	- 7	0,79	0,454	3,9	0,0202
0,30	1,350	13	0,80	2,226	22	4,0	54,60	0,30	0,741	- 8	0,80	0,449	4,0	0,0183
0,31	1,363	14	0,81	2,248	22	4,1	60,34	0,31	0,733	- 7	0,81	0,445	4,1	0,0166
0,32	1,377	14	0,82	2,270	23	4,2	66,69	0,32	0,726	- 7	0,82	0,440	4,2	0,0150
0,33	1,391	14	0,83	2,293	23	4,3	73,70	0,33	0,719	- 7	0,83	0,436	4,3	0,0136
0,34	1,405	14	0,84	2,316	24	4,4	81,45	0,34	0,712	- 7	0,84	0,432	4,4	0,0123
0,35	1,419	14	0,85	2,340	23	4,5	90,02	0,35	0,705	- 7	0,85	0,427	4,5	0,0111
0,36	1,433	15	0,86	2,363	24			0,36	0,698	- 7	0,86	0,423		
0,37	1,448	14	0,87	2,387	24	5,0	148,4	0,37	0,691	- 7	0,87	0,419	5,0	0,00674
0,38	1,462	15	0,88	2,411	24	6,0	403,4	0,38	0,684	- 7	0,88	0,415	6,0	0,00248
0,39	1,477	15	0,89	2,435	25	7,0	1097	0,39	0,677	- 7	0,89	0,411	7,0	0,000912
0,40	1,492	15	0,90	2,460	24	8,0	2981	0,40	0,670	- 6	0,90	0,407	8,0	0,000335
0,41	1,507	15	0,91	2,484	25	9,0	8103	0,41	0,664	- 7	0,91	0,403	9,0	0,000123
0,42	1,522	15	0,92	2,509	26	10,0	22026	0,42	0,657	- 6	0,92	0,399	10,0	0,000045
0,43	1,537	16	0,93	2,535	25			0,43	0,651	- 7	0,93	0,395		
0,44	1,553	15	0,94	2,560	26	$\pi/2$	4,810	0,44	0,644	- 6	0,94	0,391	$\pi/2$	0,208
						$2\pi/2$	23,14						$2\pi/2$	0,0432
0,45	1,568	16	0,95	2,586	26	$3\pi/2$	111,3	0,45	0,638	- 7	0,95	0,387	$3\pi/2$	0,00898
0,46	1,584	16	0,96	2,612	26	$4\pi/2$	535,5	0,46	0,631	- 6	0,96	0,383	$4\pi/2$	0,00187
0,47	1,600	16	0,97	2,638	26	$5\pi/2$	2576	0,47	0,625	- 6	0,97	0,379	$5\pi/2$	0,000388
0,48	1,616	16	0,98	2,664	27	$6\pi/2$	12392	0,48	0,619	- 6	0,98	0,375	$6\pi/2$	0,000081
0,49	1,632	17	0,99	2,691	27	$7\pi/2$	59610	0,49	0,613	- 6	0,99	0,372	$7\pi/2$	0,000017
						$8\pi/2$	286751						$8\pi/2$	0,000003
0,50	1,649		1,00	2,718				0,50	0,607		1,00	0,368		

*Note - Ne pas interpoler dans cette colonne.

TABLES D'ANNUITÉ

i = 0,05				i = 0,06			
n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$
1	1,050	1,00000	1.05000	1	1,060	1,00000	1,06000
2	1,102	0,48781	0,53781	2	1,124	0,48544	0,54544
3	1,158	0,31721	0,36721	3	1,191	0,31411	0,37411
4	1,216	0,23201	0,28201	4	1,262	0,22859	0,28859
5	1,276	0,18098	0,23098	5	1,338	0,17740	0,23740
6	1,340	0,14702	0,19702	6	1,419	0,14336	0,20336
7	1,407	0,12282	0,17282	7	1,504	0,11914	0,17914
8	1,477	0,10472	0,15472	8	1,594	0,10104	0,16104
9	1,551	0,09069	0,14069	9	1,689	0,08702	0,14702
10	1,629	0,07950	0,12950	10	1,791	0,07587	0,13587
11	1,710	0,07039	0,12039	11	1,898	0,06679	0,12679
12	1,796	0,06283	0,11283	12	2,012	0,05928	0,11928
13	1,886	0,05646	0,10646	13	2,133	0,05296	0,11296
14	1,980	0,05102	0,10102	14	2,261	0,04759	0,10759
15	2,079	0,04634	0,09634	15	2,397	0,04296	0,10296
16	2,183	0,04227	0,09227	16	2,540	0,03895	0,09895
17	2,292	0,03870	0,08870	17	2,693	0,03544	0,09544
18	2,407	0,03555	0,08555	18	2,854	0,03236	0,09236
19	2,527	0,03275	0,08275	19	3,026	0,02962	0,08962
20	2,653	0,03024	0,08024	20	3,207	0,02718	0,08718
21	2,786	0,02800	0,07800	21	3,400	0,02500	0,08500
22	2,925	0,02597	0,07597	22	3,604	0,02305	0,08305
23	3,072	0,02414	0,07414	23	3,820	0,02128	0,08128
24	3,225	0,02247	0,07247	24	4,049	0,01968	0,07968
25	3,386	0,02095	0,07095	25	4,292	0,01823	0,07823
26	3,556	0,01956	0,06956	26	4,549	0,01690	0,07690
27	3,733	0,01829	0,06829	27	4,822	0,01570	0,07570
28	3,920	0,01712	0,06712	28	5,112	0,01459	0,07459
29	4,116	0,01605	0,06605	29	5,418	0,01358	0,07358
30	4,322	0,01505	0,06505	30	5,743	0,01265	0,07265
31	4,538	0,01413	0,06413	31	6,088	0,01179	0,07179
32	4,765	0,01328	0,06328	32	6,453	0,01100	0,07100
33	5,003	0,01249	0,06249	33	6,841	0,01027	0,07027
34	5,253	0,01176	0,06176	34	7,251	0,00960	0,06960
35	5,516	0,01107	0,06107	35	7,686	0,00897	0,06897
36	5,792	0,01043	0,06043	36	8,147	0,00839	0,06839
37	6,081	0,00984	0,05984	37	8,636	0,00786	0,06786
38	6,385	0,00928	0,05928	38	9,154	0,00736	0,06736
39	6,705	0,00876	0,05876	39	9,703	0,00689	0,06689
40	7,040	0,00828	0,05828	40	10,286	0,00646	0,06646
41	7,392	0,00782	0,05782	41	10,903	0,00606	0,06606
42	7,762	0,00739	0,05739	42	11,557	0,00568	0,06568
43	8,150	0,00699	0,05699	43	12,250	0,00533	0,06533
44	8,557	0,00662	0,05662	44	12,985	0,00501	0,06501
45	8,985	0,00626	0,05626	45	13,765	0,00470	0,06470
46	9,434	0,00593	0,05593	46	14,590	0,00441	0,06441
47	9,906	0,00561	0,05561	47	15,466	0,00415	0,06415
48	10,401	0,00532	0,05532	48	16,394	0,00390	0,06390
49	10,921	0,00504	0,05504	49	17,377	0,00366	0,06366
50	11,467	0,00478	0,05478	50	18,420	0,00344	0,06344

TABLES D'ANNUITÉ

i = 0,07				i = 0,08			
n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$
1	1,070	1,00000	1,07000	1	1,080	1,00000	1,08000
2	1,145	0,48309	0,55309	2	1,166	0,48077	0,56077
3	1,225	0,31105	0,38105	3	1,260	0,30803	0,38803
4	1,311	0,22523	0,29523	4	1,360	0,22192	0,30192
5	1,403	0,17389	0,24389	5	1,469	0,17046	0,25046
6	1,501	0,13980	0,20980	6	1,587	0,13632	0.21632
7	1,606	0,11555	0,18555	7	1,714	0,11207	0,19207
8	1,718	0,09747	0,16747	8	1,851	0,09401	0,17401
9	1.838	0,08349	0,15349	9	1,999	0,08008	0.16008
10	1,967	0,07238	0,14238	10	2,159	0,06903	0,14903
11	2,105	0,06336	0,13336	11	2,332	0,06008	0,14008
12	2,252	0,05590	0,12590	12	2,518	0,05270	0,13270
13	2,410	0,04965	0,11965	13	2.720	0,04652	0,12652
14	2,579	0,04434	0,11434	14	2,937	0,04130	0,12130
15	2,759	0,03979	0,10979	15	3,172	0.03683	0.11683
16	2,952	0,03586	0,10586	16	3.426	0.03298	0.11298
17	3,159	0,03243	0,10243	17	3.700	0,02963	0.10963
18	3,380	0,02941	0,09941	18	3.996	0.02670	0,10670
19	3,617	0,02675	0,09675	19	4.316	0.02413	0,10413
20	3,870	0,02439	0,09439	20	4.661	0.02185	0,10185
21	4,141	0,02229	0,09229	21	5.034	0.01983	0,09983
22	4,430	0,02041	0,09041	22	5.437	0.01803	0.09803
23	4,741	0,01871	0,08871	23	5,871	0.01642	0,09642
24	5,072	0,01719	0,08719	24	6.341	0,01498	0,09498
25	5,427	0,01581	0,08581	25	6,848	0.01368	0,09368
26	5,807	0,01456	0,08456	26	7.396	0.01251	0.09251
27	6,214	0,01343	0,08343	27	7,988	0,01145	0.09145
28	6,649	0,01239	0,08239	28	8,627	0.01049	0.09049
29	7,114	0,01145	0,08145	29	9.317	0.00962	0.08962
30	7,612	0,01059	0,08059	30	10.063	0.00883	0.08883
31	8,145	0,00980	0,07980	31	10.868	0.00811	0.08811
32	8,715	0,00907	0,07907	32	11.737	0.00745	0.08745
33	9,325	0,00841	0,07841	33	12.676	0.00685	0.08685
34	9,978	0,00780	0,07780	34	13.690	0.00630	0.08630
35	10,677	0,00723	0.07723	35	14.785	0.00580	0.08580
36	11,424	0,00672	0,07672	36	15.968	0.00534	0,08534
37	12,224	0,00624	0,07624	37	17.246	0.00492	0.08492
38	13,079	0,00580	0,07580	38	18,625	0,00454	0,08454
39	13,995	0,00539	0,07539	39	20.115	0.00419	0,08419
40	14,974	0,00501	0,07501	40	21.725	0.00386	0.08386
41	16,023	0,00466	0,07466	41	23,463	0,00356	0,08356
42	17,144	0,00434	0,07434	42	25,340	0,00329	0,08329
43	18,344	0,00404	0,07404	43	27.367	0,00303	0.08303
44	19,628	0,00376	0,07376	44	29,556	0,00280	0.08280
45	21,002	0,00350	0,07350	45	31.920	0,00259	0.08259
46	22,473	0,00326	0,07326	46	34,474	0,00239	0.08239
47	24,046	0,00304	0,07304	47	37,232	0,00221	0,08221
48	25,729	0,00283	0,07283	48	40,211	0,00204	0,08204
49	27,530	0,00264	0,07264	49	43,427	0,00189	0,08189
50	29,457	0,00246	0,07246	50	46,902	0,00174	0,08174

TABLES D'ANNUITÉ

i = 0,09				i = 0,10			
n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$
1	1,090	1,00000	1,09000	1	1,100	1,00001	1,10001
2	1,188	0,47847	0,56847	2	1,210	0,47619	0,57619
3	1,295	0,30505	0,39505	3	1,331	0,30211	0,40211
4	1,412	0,21867	0,30867	4	1,464	0,21547	0,31547
5	1,539	0,16709	0,25709	5	1,611	0,16380	0,26380
6	1,677	0,13292	0,22292	6	1,772	0,12961	0,22961
7	1,828	0,10869	0,19869	7	1,949	0,10541	0,20541
8	1,993	0,09067	0,18067	8	2,144	0,08744	0,18744
9	2,172	0,07680	0,16680	9	2,358	0,07364	0,17364
10	2,367	0,06582	0,15582	10	2,594	0,06275	0,16275
11	2,580	0,05695	0,14695	11	2,853	0,05396	0,15396
12	2,813	0,04965	0,13965	12	3,138	0,04676	0,14676
13	3,066	0,04357	0,13357	13	3,452	0,04078	0,14078
14	3,342	0,03843	0,12843	14	3,797	0,03575	0,13575
15	3,642	0,03406	0,12406	15	4,177	0,03147	0,13147
16	3,970	0,03030	0,12030	16	4,595	0,02782	0,12782
17	4,328	0,02705	0,11705	17	5,054	0,02466	0,12466
18	4,717	0,02421	0,11421	18	5,560	0,02193	0,12193
19	5,142	0,02173	0,11173	19	6,116	0,01955	0,11955
20	5,604	0,01955	0,10955	20	6,728	0,01746	0,11746
21	6,109	0,01762	0,10762	21	7,400	0,01562	0,11562
22	6,659	0,01590	0,10590	22	8,140	0,01401	0,11401
23	7,258	0,01438	0,10438	23	8,954	0,01257	0,11257
24	7,911	0,01302	0,10302	24	9,850	0,01130	0,11130
25	8,623	0,01181	0,10181	25	10,835	0,01017	0,11017
26	9,399	0,01072	0,10072	26	11,918	0,00916	0,10916
27	10,245	0,00973	0,09973	27	13,110	0,00826	0,10826
28	11,167	0,00885	0,09885	28	14,421	0,00745	0,10745
29	12,172	0,00806	0,09806	29	15,863	0,00673	0,10673
30	13,268	0,00734	0,09734	30	17,449	0,00608	0,10608
31	14,462	0,00669	0,09669	31	19,194	0,00550	0,10550
32	15,763	0,00610	0,09610	32	21,114	0,00497	0,10497
33	17,182	0,00556	0,09556	33	23,225	0,00450	0,10450
34	18,728	0,00508	0,09508	34	25,548	0,00407	0,10407
35	20,414	0,00464	0,09464	35	28,102	0,00369	0,10369
36	22,251	0,00424	0,09424	36	30,913	0,00334	0,10334
37	24,254	0,00387	0,09387	37	34,004	0,00303	0,10303
38	26,437	0,00354	0,09354	38	37,404	0,00275	0,10275
39	28,816	0,00324	0,09324	39	41,145	0,00249	0,10249
40	31,409	0,00296	0,09296	40	45,259	0,00226	0,10226
41	34,236	0,00271	0,09271	41	49,785	0,00205	0,10205
42	37,318	0,00248	0,09248	42	54,764	0,00186	0,10186
43	40,676	0,00227	0,09227	43	60,240	0,00169	0,10169
44	44,337	0,00208	0,09208	44	66,264	0,00153	0,10153
45	48,327	0,00190	0,09190	45	72,891	0,00139	0,10139
46	52,677	0,00174	0,09174	46	80,180	0,00126	0,10126
47	57,418	0,00160	0,09160	47	88,198	0,00115	0,10115
48	62,585	0,00146	0,09146	48	97,017	0,00104	0,10104
49	68,218	0,00134	0,09134	49	106,719	0,00095	0,10095
50	74,358	0,00123	0,09123	50	117,391	0,00086	0,10086

TABLES D'ANNUITÉ

i = 0,11				i = 0,12			
n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$
1	1,110	1,00001	0,11001	1	1,120	1,00001	1,12001
2	1,232	0,47393	0,58393	2	1,254	0,47170	0,59170
3	1,368	0,29921	0,40921	3	1,405	0,29635	0,41635
4	1,518	0,21233	0,32233	4	1,574	0,20923	0,32923
5	1,685	0,16057	0,27057	5	1,762	0,15741	0,27741
6	1,870	0,12638	0,23638	6	1,974	0,12323	0,24323
7	2,076	0,10222	0,21222	7	2,211	0,09912	0,21912
8	2,305	0,08432	0,19432	8	2,476	0,08130	0,20130
9	2,558	0,07060	0,18060	9	2,773	0,06768	0,18768
10	2,839	0,05980	0,16980	10	3,106	0,05698	0,17698
11	3,152	0,05112	0,16112	11	3,479	0,04842	0,16842
12	3,498	0,04403	0,15403	12	3,896	0,04144	0,16144
13	3,883	0,03815	0,14815	13	4,363	0,03568	0,15568
14	4,310	0,03323	0,14323	14	4,887	0,03087	0,15087
15	4,785	0,02907	0,13907	15	5,474	0,02682	0,14682
16	5,311	0,02552	0,13552	16	6,130	0,02339	0,14339
17	5,895	0,02247	0,13247	17	6,866	0,02046	0,14046
18	6,544	0,01984	0,12984	18	7,690	0,01794	0,13794
19	7,263	0,01756	0,12756	19	8,613	0,01576	0,13576
20	8,062	0,01558	0,12558	20	9,646	0,01388	0,13388
21	8,949	0,01384	0,12384	21	10,804	0,01224	0,13224
22	9,934	0,01231	0,12231	22	12,100	0,01081	0,13081
23	11,026	0,01097	0,12097	23	13,552	0,00956	0,12956
24	12,239	0,00979	0,11979	24	15,179	0,00846	0,12846
25	13,585	0,00874	0,11874	25	17,000	0,00750	0,12750
26	15,080	0,00781	0,11781	26	19,040	0,00665	0,12665
27	16,739	0,00699	0,11699	27	21,325	0,00590	0,12590
28	18,580	0,00626	0,11626	28	23,884	0,00524	0,12524
29	20,624	0,00561	0,11561	29	26,750	0,00466	0,12466
30	22,892	0,00502	0,11502	30	29,960	0,00414	0,12414
31	25,410	0,00451	0,11451	31	33,555	0,00369	0,12369
32	28,206	0,00404	0,11404	32	37,582	0,00328	0,12328
33	31,308	0,00363	0,11363	33	42,092	0,00292	0,12292
34	34,752	0,00326	0,11326	34	47,143	0,00260	0,12260
35	38,575	0,00293	0,11293	35	52,800	0,00232	0,12232
36	42,818	0,00263	0,11263	36	59,136	0,00206	0,12206
37	47,528	0,00236	0,11236	37	66,232	0,00184	0,12184
38	52,756	0,00213	0,11213	38	74,180	0,00164	0,12164
39	58,559	0,00191	0,11191	39	83,081	0,00146	0,12146
40	65,001	0,00172	0,11172	40	93,051	0,00130	0,12130
41	72,151	0,00155	0,11155	41	104,217	0,00116	0,12116
42	80,088	0,00139	0,11139	42	116,723	0,00104	0,12104
43	88,897	0,00125	0,11125	43	130,730	0,00092	0,12092
44	98,676	0,00113	0,11113	44	146,418	0,00083	0,12083
45	109,530	0,00101	0,11101	45	163,987	0,00074	0,12074
46	121,579	0,00091	0,11091	46	183,666	0,00066	0,12066
47	134,952	0,00082	0,11082	47	205,706	0,00059	0,12059
48	149,797	0,00074	0,11074	48	230,391	0,00052	0,12052
49	166,275	0,00067	0,11067	49	258,038	0,00047	0,12047
50	184,565	0,00060	0,11060	50	289,002	0,00042	0,12042

TABLES D'ANNUITÉ

i = 0,13				i = 0,14				i = 0,15			
n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$	n	$(1+i)^n$	$\frac{i}{(1+i)^n-1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$
1	1,130	1,00001	1,13001	1	1,140	1,00000	1,14000	1	1,150	1,00000	1,15000
2	1,277	0,46949	0,59949	2	1,300	0,46729	0,60729	2	1,322	0,46512	0,61512
3	1,443	0,29352	0,42352	3	1,482	0,29073	0,43073	3	1,521	0,28798	0,43798
4	1,630	0,20619	0,33619	4	1,689	0,20320	0,34320	4	1,749	0,20027	0,35027
5	1,842	0,15431	0,28431	5	1,925	0,15128	0,29128	5	2,011	0,14832	0,29832
6	2,082	0,12015	0,25015	6	2,195	0,11716	0,25716	6	2,313	0,11424	0,26424
7	2,353	0,09611	0,22611	7	2,502	0,09319	0,23319	7	2,660	0,09036	0,24036
8	2,658	0,07839	0,20839	8	2,853	0,07557	0,21557	8	3,059	0,07285	0,22285
9	3,004	0,06487	0,19487	9	3,252	0,06217	0,20217	9	3,518	0,05957	0,20957
10	3,395	0,05429	0,18429	10	3,707	0,05171	0,19171	10	4,046	0,04925	0,19925
11	3,836	0,04584	0,17584	11	4,226	0,04339	0,18339	11	4,652	0,04107	0,19107
12	4,335	0,03899	0,16899	12	4,818	0,03667	0,17667	12	5,350	0,03448	0,18448
13	4,898	0,03335	0,16335	13	5,492	0,03116	0,17116	13	6,153	0,02911	0,17911
14	5,535	0,02867	0,15867	14	6,261	0,02661	0,16661	14	7,076	0,02469	0,17469
15	6,254	0,02474	0,15474	15	7,138	0,02281	0,16281	15	8,137	0,02102	0,17102
16	7,067	0,02143	0,15143	16	8,137	0,01962	0,15962	16	9,358	0,01795	0,16795
17	7,986	0,01861	0,14861	17	9,276	0,01692	0,15692	17	10,761	0,01537	0,16537
18	9,024	0,01620	0,14620	18	10,575	0,01462	0,15462	18	12,375	0,01319	0,16319
19	10,197	0,01413	0,14413	19	12,056	0,01266	0,15266	19	14,232	0,01134	0,16134
20	11,523	0,01235	0,14235	20	13,743	0,01099	0,15099	20	16,367	0,00976	0,15976
21	13,021	0,01081	0,14081	21	15,668	0,00954	0,14954	21	18,822	0,00842	0,15842
22	14,714	0,00948	0,13948	22	17,861	0,00830	0,14830	22	21,645	0,00727	0,15727
23	16,627	0,00832	0,13832	23	20,362	0,00723	0,14723	23	24,891	0,00628	0,15628
24	18,788	0,00731	0,13731	24	23,212	0,00630	0,14630	24	28,625	0,00543	0,15543
25	21,231	0,00643	0,13643	25	26,462	0,00550	0,14550	25	32,919	0,00470	0,15470
26	23,991	0,00565	0,13565	26	30,167	0,00480	0,14480	26	37,857	0,00407	0,15407
27	27,109	0,00498	0,13498	27	34,390	0,00419	0,14419	27	43,535	0,00353	0,15353
28	30,633	0,00439	0,13439	28	39,204	0,00366	0,14366	28	50,066	0,00306	0,15306
29	34,616	0,00387	0,13387	29	44,693	0,00320	0,14320	29	57,575	0,00265	0,15265
30	39,116	0,00341	0,13341	30	50,950	0,00280	0,14280	30	66,212	0,00230	0,15230
31	44,201	0,00301	0,13301	31	58,083	0,00245	0,14245	31	76,143	0,00200	0,15200
32	49,947	0,00266	0,13266	32	66,215	0,00215	0,14215	32	87,565	0,00173	0,15173
33	56,440	0,00234	0,13234	33	75,485	0,00188	0,14188	33	100,700	0,00150	0,15150
34	63,777	0,00207	0,13207	34	86,053	0,00165	0,14165	34	115,805	0,00131	0,15131
35	72,068	0,00183	0,13183	35	98,100	0,00144	0,14144	35	133,175	0,00113	0,15113
36	81,437	0,00162	0,13162	36	111,834	0,00126	0,14126	36	153,152	0,00099	0,15099
37	92,024	0,00143	0,13143	37	127,491	0,00111	0,14111	37	176,124	0,00086	0,15086
38	103,987	0,00126	0,13126	38	145,340	0,00097	0,14097	38	202,543	0,00074	0,15074
39	117,506	0,00112	0,13112	39	165,687	0,00085	0,14085	39	232,924	0,00065	0,15065
40	132,782	0,00099	0,13099	40	188,883	0,00075	0,14075	40	267,863	0,00056	0,15056
41	150,043	0,00087	0,13087	41	215,327	0,00065	0,14065	41	308,043	0,00049	0,15049
42	169,549	0,00077	0,13077	42	245,473	0,00057	0,14057	42	354,249	0,00042	0,15042
43	191,590	0,00068	0,13068	43	279,839	0,00050	0,14050	43	407,386	0,00037	0,15037
44	216,497	0,00060	0,13060	44	319,016	0,00044	0,14044	44	468,494	0,00032	0,15032
45	244,641	0,00053	0,13053	45	363,678	0,00039	0,14039	45	538,769	0,00028	0,15028
46	276,445	0,00047	0,13047	46	414,593	0,00034	0,14034	46	619,584	0,00024	0,15024
47	312,382	0,00042	0,13042	47	472,636	0,00030	0,14030	47	712,521	0,00021	0,15021
48	352,992	0,00037	0,13037	48	538,806	0,00026	0,14026	48	819,399	0,00018	0,15018
49	398,881	0,00033	0,13033	49	614,239	0,00023	0,14023	49	942,308	0,00016	0,15016
50	450,736	0,00029	0,13029	50	700,232	0,00020	0,14020	50	1083,655	0,00014	0,15014

ACHEVÉ D'IMPRIMER
EN NOVEMBRE 1969
PAR L'IMPRIMERIE
MOSELLE-VIEILLEMARD
91- VILLEBON-SUR-YVETTE
Dépôt légal : 4e trimestre 1969
N° d'impression : 62940
N° d'éditeur : 212

IMPRIMÉ EN FRANCE